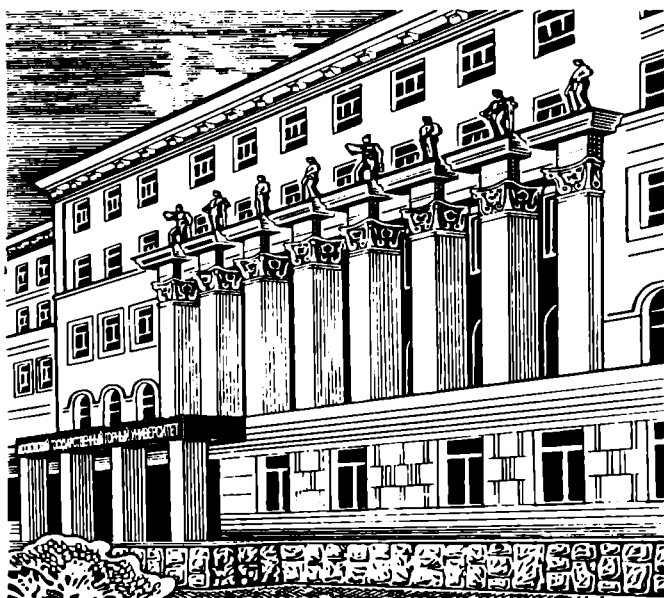


*90-летию
МГА-МГИ-МГГУ
посвящается*



РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель
Л.А. ПУЧКОВ

Зам. председателя
Л.Х. ГИТИС

Члены редсовета
И.В. ДЕМЕНТЬЕВ

А.П. ДМИТРИЕВ

Б.А. КАРТОЗИЯ

А.В. КОРЧАК

М.В. КУРЛЕНЯ

В.И. ОСИПОВ

В.Л. ПЕТРОВ

Э.М. СОКОЛОВ

К.Н. ТРУБЕЦКОЙ

В.А. ЧАНТУРИЯ

Е.И. ШЕМЯКИН

*президент МГГУ,
чл.-корр. РАН*

*директор
Издательства МГГУ*

академик РАЕН

академик РАЕН

академик РАЕН

академик МАН ВШ

академик РАН

академик РАН

академик МАН ВШ

академик МАН ВШ

академик РАН

академик РАН

академик РАН

В.А. Ермолов
Г.Б. Попова
В.В. Мосейкин
Л.Н. Ларичев
Г.Н. Харитоненко

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

*Под редакцией
профессора В.А. Ермолова*

Издание 4-е, стереотипное

*Рекомендовано
Министерством образования и науки РФ
в качестве учебника для студентов
высших учебных заведений, обучающихся
по направлению «Горное дело» по специальностям
«Подземная разработка полезных ископаемых»,
«Обогащение полезных ископаемых»*

МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА»
♦
ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА
2 0 0 9

ГЕОЛОГИЯ



УДК 553.3/9(075.8)

ББК 26.325

Е 74

Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным для взрослых» СанПиН 1.2.1253—03, утвержденным Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г. (ОСТ 29.124—94). Санитарно-эпидемиологическое заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека № 77.99.60.953.Д.012634.11.08

Рецензенты:

- кафедра геологии Кузбасского государственного технического университета (зав. кафедрой геологии д-р техн. наук, проф. Ю.В. Лесин);
- д-р геол.-минер. наук, проф. М.В. Голицын (геологический факультет МГУ)

Ермолов В.А., Попова Г.Б., Мосейкин В.В., Ларичев Л.Н., Харитоненко Г.Н.

Е 74 Месторождения полезных ископаемых: Учеб. для вузов / Под ред. В.А. Ермолова. — 4-е изд., стер. — М.: издательство «Горная книга», Издательство Московского государственного горного университета, 2009. — 570 с.: ил. (ГЕОЛОГИЯ)

ISBN 978-5-98672-123-1 (в пер.)

ISBN 978-5-7418-0569-5

Приведены общие сведения о месторождениях полезных ископаемых и площадях их распространения, обобщены данные по вещественному составу, морфологии и условиям залегания тел полезных ископаемых. Дана современная генетическая классификация месторождений, описаны процессы и условия их образования, охарактеризованы различные месторождения эндогенной, эндогенно-экзогенной и экзогенной серии. Рассмотрены свойства, области применения, запасы и горно-геологические условия месторождений металлических, неметаллических и горючих ископаемых. Изложены методика и технология геологоразведочных работ, геолого-промышленная оценка месторождений на разных стадиях их промышленного освоения.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Горное дело» по специальностям «Подземная разработка полезных ископаемых», «Обогащение полезных ископаемых».

УДК 553.3/9(075.8)

ББК 26.325

ISBN 978-5-98672-123-1

ISBN 978-5-7418-0569-5

© Коллектив авторов, 2007, 2009

© Издательство «Горная книга», 2007, 2009

© Издательство МГГУ, 2007, 2009

© Дизайн книги. Издательство МГГУ, 2007, 2009

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современный период экономического и социального развития России ставит перед геологической отраслью задачи укрепления и расширения минерально-сырьевой базы страны, повышения эффективности и качества подготовки к освоению разведанных запасов полезных ископаемых; предусмотрено ускорение внедрения прогрессивных методов поисков и разведки полезных ископаемых, повышение уровня научного обоснования прогнозов и геолого-экономической оценки месторождений, более широкое и эффективное использование геофизических и геохимических методов исследований, аэровысотных и космических средств для изучения поверхности Земли и ее недр. В предстоящем периоде особое внимание уделяется поискам и разведке высококачественных руд для черной и цветной металлургии, сырья для производства минеральных удобрений и строительных материалов, месторождений коксующегося и энергетического угля, особенно пригодных для разработки открытым способом.

В связи с изложенным становится очевидным значение геологии в научно-техническом прогрессе горнодобывающей промышленности, в охране и рациональном использовании недр и природы в целом. Вот почему геологическое образование является одним из важнейших элементов подготовки современного горного инженера, способного при постоянно усложняющихся горно-геологических условиях успешно решать проблемы хозяйственного освоения недр Земли. Геология всесторонне изучает природную среду, к которой приурочено горное производство. Освоение минеральных ресурсов недр становится невозможным без знания и учета природных условий разработки месторождений полезных ископаемых.

В структуре геологической подготовки студентов горных специальностей курс «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» занимает ведущее место. Он призван дать систематический анализ условий образования месторождений полезных ископаемых, создать целостное представление о со-

стоянии и перспективах развития минерально-сырьевой базы горнодобывающей промышленности. Этот курс имеет и мировоззренческое значение, поскольку способствует формированию материалистического понимания природы, становлению природоохранных концепций ее освоения.

В книге последовательно рассматриваются общие сведения о полезных ископаемых, факторы и условия, определяющие горно-геологические условия их освоения, приведена унифицированная генетическая систематика месторождений, а также состояние и вопросы использования сырьевой базы различных видов твердых полезных ископаемых — металлических, неметаллических и горючих. Значительный раздел книги содержит сведения о разведке и геолого-промышленной оценке месторождений полезных ископаемых.

В книге предисловие, главы 1, 6—8 написаны проф. В.А. Ермоловым, введение, глава 2 — проф. Г.Б. Поповой, глава 3, 4 — проф. В.А. Ермоловым, доц. В.В. Мосейкиным, доц. Л.Н. Лиричевым, проф. Г.Н. Харитоненко, глава 5 — доц. Л.Н. Ларичевым.

При подготовке учебника использованы материалы проф. В.В. Ершова, проф. И.В. Еремина, доц. Е.М. Тихомирова. Авторы выражают глубокую благодарность Т.Н. Базановой, В.П. Зервандовой, О.А. Плотниковой и И.А. Честной за помощь при подготовке рукописи к изданию.

ВВЕДЕНИЕ

Учение о месторождениях полезных ископаемых представляет собой прикладную дисциплину геологического цикла наук, изучающую месторождения как геологические явления. К основным задачам учения относится изучение условий образования месторождений полезных ископаемых и закономерностей их распространения в земной коре.

Эти задачи, теоретические по своему характеру, имеют большое практическое значение, поскольку от генезиса месторождений зависят их основные геолого-промышленные характеристики: условия залегания, форма и размеры тел полезных ископаемых, вещественный состав и структурно-текстурные особенности. В свою очередь названные параметры определяют рациональные направления и эффективность поисково-разведочных и эксплуатационных работ, схему переработки добытого минерального сырья.

Являясь отраслью геологии, учение о месторождениях полезных ископаемых тесно связано с другими геологическими науками; например, связь с петрографией объясняется тем, что месторождения представляют собой части более крупных массивов горных пород; знания минералогии и геохимии необходимы для изучения состава полезных ископаемых, закономерностей рассеяния и концентрации компонентов, приводящих в конкретных условиях к образованию или разрушению месторождений.

Поскольку формирование месторождений всегда происходит на фоне каких-то более общих геологических процессов, протекающих в пределах отдельных участков земной коры, обладающих теми или иными особенностями строения и развития, учение о месторождениях полезных ископаемых тесно соприкасается с такими геологическими науками, как динамическая и структурная геология, геотектоника. Кроме того, полное познание геологической обстановки невозможно без детально-

го исследования гидрогеологических и инженерно-геологических условий.

Из негеологических наук учение о месторождениях полезных ископаемых теснее всего связано с физической химией, законы которой нередко используются при анализе природных процессов минералообразования. Знания в области математики, особенно таких ее разделов, как теория вероятностей и математическая статистика, необходимы для обработки геолого-разведочных данных и обоснованной интерпретации полученных результатов. Учение о месторождениях полезных ископаемых является геолого-экономической наукой, поскольку каждое месторождение на всех стадиях освоения — от поисков и разведки до эксплуатации — должно получить достоверную экономическую оценку его народнохозяйственного значения.

Краткий исторический очерк. Формирование и развитие учения о геологии месторождений полезных ископаемых тесно связано с возникновением горных промыслов и последующим совершенствованием горного дела. Развитие различных отраслей горной промышленности основывалось на выявлении полезных ископаемых и служило стимулом для их познания. Накопление знаний вело к постепенному становлению учения о месторождениях полезных ископаемых, методах их поисков и разведки.

С глубокой древности человек использовал для бытовых целей различные минералы и горные породы. Сначала люди стали применять разнообразные неметаллические полезные ископаемые: кремнь, кварц, роговик, кварцит, известняк, глину, каменную соль. Постепенно осваивались и металлы. Первобытные люди научились пользоваться метеоритным железом, самородными медью и золотом, позднее стали выплавлять олово, медь, железо. История применения золота насчитывает не менее 14 тысячелетий. Нефть служила топливом уже в бронзовом веке, в четвертом — шестом тысячелетиях до н.э. Позднее, но еще до нашей эры, в обиход человека вошел и уголь.

На территории нашей страны добыча меди, олова, золота и серебра началась за несколько тысяч лет до нашей эры. Следы древних разработок обнаружены на Урале, Алтае, в Сибири,

Средней Азии, Казахстане. Первые добычные работы ограничивались только поверхностными частями месторождений, что мало способствовало развитию знаний о полезных ископаемых. Но несмотря на это, уже в работах среднеазиатских ученых Ибн Сины (Авиценны), аль-Бируни и других появлялись сведения о месторождениях обобщенного характера.

Более полные сведения о месторождениях были собраны в средние века. В это время мелкие кустарные разработки уступают место все более крупным рудникам, совершенствуются техника горных работ и выплавка металлов. Развивается горнозаводская промышленность в Западной и Центральной Европе, а позднее — в Подмосковье, на Урале, в Олонецком крае, Сибири, на Алтае. Наиболее крупными научными обобщениями того времени следует считать работы Агриколы (Георга Бауэра) и Рене Декарта.

В Москве в 1584 г. был создан Государев приказ Каменных дел, который, выполняя главную задачу по обеспечению строительства города естественными каменными материалами, содействовал открытию большого числа месторождений металлов и неметаллического сырья. В петровский период интенсивному развитию горного дела, расширению поисков и разведки месторождений активно способствовал Приказ рудокопных дел, преобразованный затем в Бергколлегию. Именно в это время Россия вышла на первое место в мире по производству железа, меди, свинца, пищевой соли.

Исключительная роль в создании основ науки о месторождениях полезных ископаемых принадлежит М.В. Ломоносову. В своих работах «О слоях земных», «Слово о рождении металлов от трясения земли», «Первые основания металлургии или рудных дел» он изложил теорию рудного минералообразования, отметив связь месторождений с тектоникой, правильно оценил значение окисления руд для их поисков, дал классификацию месторождений. Принципиально верными оказались представления М.В. Ломоносова об органическом происхождении каменного угля, нефти, асфальта, битуминозных сланцев, янтаря.

В России после М.В. Ломоносова серьезное значение имели исследования И.И. Лепехина, Н.Я. Озерцовского, М.Е. Голо-

вина, Н.П. Рычкова, П.С. Паласа, Г.К. Разумовского, позднее В.М. Севергина, Д.И. Соколова, Г.Е. Щуровского и др. Было создано Горное ведомство, под руководством которого расширялись геологические работы, были составлены первые геологические карты отдельных районов. В 1773 г. в Петербурге было открыто Горное училище (позднее Горный институт), воспитавший многих выдающихся ученых и горных инженеров-практиков. Оно сыграло важную роль в развитии геологических наук и горной промышленности в нашей стране. С 1825 г. началось издание «Горного журнала».

Быстрый рост горной промышленности в Западной Европе и США привел к тому, что в XVIII-XIX вв. появились многочисленные работы, посвященные геологии и условиям образования минеральных месторождений. Существенное влияние на развитие геологии оказали труды А. Вернера, Д. Хеттона, позднее Э. де Бомона, Б. Котты, К.Г. Бишофа и др.

Усиление капитализма в России в конце прошлого века привело к заметному оживлению в деле геологического изучения страны.

Широкие систематические исследования геологического строения различных районов страны, поиски новых месторождений организовал созданный в 1892 г. Геологический комитет. В первые годы Геолком составлял 10-верстную геологическую карту европейской части России. В 90-х годах проводилась геологическая съемка Донецкого бассейна, железорудных районов Кривого Рога, железо- и золоторудных районов Урала. Начались геологические исследования вдоль трассы Сибирской железной дороги и ряда золотоносных районов Сибири. С 1901 г. Геолком приступил к изучению нефтеносных районов Кавказа.

В конце XIX — начале XX вв. Геолком, несмотря на малочисленный состав, провел большую работу по изучению геологии и минеральных ресурсов различных районов страны. Особенно значительную роль в развитии науки о месторождениях полезных ископаемых в это время играли А.П. Карпинский, по праву названный «отцом русской геологии», Е.С. Федоров, К.И. Богданович, В.А. Обручев, Н.К. Высоцкий, И.В. Мушкетов, Ф.Н. Чернышев, Л.И. Лутугин, П.И. Степанов, труды ко-

торых сохранили свое значение до настоящего времени. Из зарубежных исследований большое значение имели работы Ф. Пошепного, П. Ниггли, В. Линдгрена, В. Эммонса, Х. Фогта и др.

Советский период, характеризующийся небывалым подъемом экономики страны, обеспечил интенсивное развитие геологии и учения о месторождениях полезных ископаемых на основе реализации программы индустриализации народного хозяйства. В это время помимо крупнейших деятелей Геолкома (А.П. Карпинский, В.А. Обручев, И.М. Губкин, П.И. Степанов и др.) выдвинулась замечательная плеяда ученых, проводивших глубокие, систематические и широкомасштабные исследования главных регионов страны. Работами А.Д. Архангельского, А.Г. Бетехтина, Ю.А. Билибина, В.И. Вернадского, И.Ф. Григорьева, А.Н. Заварицкого, В.М. Крейтера, Д.В. Наливкина, П.И. Преображенского, В.И. Смирнова, С.С. Смирнова, П.М. Татаринова, М.А. Усова и др. за короткий срок созданы основы современной науки о геологии, поисках и разведке месторождений полезных ископаемых. Это и обеспечило нашей стране одно из ведущих мест в мировой науке о полезных ископаемых, позволило создать прочную минерально-сырьевую базу для всех отраслей народного хозяйства.

Развитию науки о полезных ископаемых за рубежом особенно активно способствовали работы Р. Бейтса, А. Бэтмана, Я. Кутины, Ч. Парка, П. Рамдора, Р. Рутье, Г. Шнейдерхена и др. В последние десятилетия появились сводные исследования по геологии и условиям образования различных видов минерального сырья, обобщения по полезным ископаемым континентов и зарубежных стран. В современной геологии, видимо, нет более широкой и разветвленной науки, чем учение о полезных ископаемых.

Отечественная геология на современном этапе научно-технической революции превратилась в мощную научно-производственную отрасль, обеспечивающую опережающее развитие минерально-сырьевой базы страны. Весьма актуальными в настоящее время являются задачи расширения сырьевой базы действующих горнодобывающих предприятий, особенно в районах формирования территориально-производственных комплексов.

Необходимо усилить поиски и разведку месторождений богатых и легкообогатимых руд черных и цветных металлов, бокситов, фосфоритов, угля, горючих сланцев, подземных вод и сырья для атомной энергетики, для производства строительных материалов и минеральных удобрений.

Значение учения о полезных ископаемых. Как следует из вышеизложенного, учение о месторождениях полезных ископаемых тесно связано с практическими вопросами горного дела, а история его развития в нашей стране и за рубежом является, по существу, частью истории развития горной науки. На знании геологии месторождений основывается их рациональная разработка. Это и определяет большое значение данной дисциплины в системе высшего горного образования.

Действительно, любое месторождение полезных ископаемых представляет собой предмет труда и объект горного производства. Масштаб запасов, условия залегания и морфология тел полезных ископаемых в значительной степени обуславливают выбор способа разработки и вскрытия месторождения. Перечисленные факторы, а также состав, свойства и строение тел полезных ископаемых и вмещающих пород, степень их тектонической нарушенности и трещиноватости влияют на выбор систем разработки, технологических схем добычи минерального сырья, направлений развития горных выработок, способа их проходки и крепления, определяют полноту извлечения полезных ископаемых из недр.

Вещественный состав, структуры и текстуры полезных ископаемых весьма значимы для выбора технологии переработки минерального сырья. Знание закономерностей пространственного распределения полезных компонентов необходимо для повышения эффективности переработки сырья за счет его селективной добычи и усреднения состава, направленного формирования качества полезного ископаемого при добыче. Детальное изучение состава, строения и свойств полезных ископаемых и вмещающих пород, тектоники, гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений чрезвычайно важно для изыскания и внедрения новых геотехнологических способов добычи минерального сырья: подземной выплавки (сера), под-

земного выщелачивания (руды меди, урана, минеральные соли), подземная газификация твердых горючих ископаемых (уголь, горючие сланцы) и др.

Наконец, знание условий образования и изменения месторождений полезных ископаемых и их физико-химическое моделирование позволят создавать в будущем искусственные месторождения и управлять природными процессами формирования последних.

Методы изучения полезных ископаемых. Конечной целью изучения месторождений полезных ископаемых является геолого-промышленная оценка, позволяющая установить их народнохозяйственное значение. Эта цель может быть достигнута путем определения геологических условий залегания и морфологии тел полезных ископаемых, вещественного состава и структурно-текстурных особенностей, генезиса месторождения. Существуют полевые и лабораторные методы изучения полезных ископаемых,

Полевые исследования проводятся для выявления геологоструктурного положения всего месторождения и отдельных его участков, для оценки формы, размеров, строения и состава залежей, их соотношения с вмещающими породами. При полевых исследованиях выполняется детальное геологическое картирование с широким привлечением данных геофизики.

На основании геологоразведочных работ осуществляется промышленная оценка месторождения, определяются гидрогеологические и инженерно-геологические условия разработки.

Лабораторные исследования направлены на детальное изучение состава, строения и технологических свойств полезного ископаемого. Вещественный состав уточняется минералогическими и петрографическими исследованиями с использованием поляризационного микроскопа, химический состав устанавливается при проведении химического и спектрального анализов. Специальные методы исследования (рентгеноструктурный, термический, люминесцентный и др.) применяются для точной диагностики состава и строения минералов. Оценка технологических свойств полезных ископаемых проводится с помощью физико-технических и физико-химических испытаний.

Наконец, важнейшую роль в оценке количества и качества минерального сырья в недрах играют математические методы и прежде всего теория вероятностей и математическая статистика.

Контрольные вопросы и задания

1. Расскажите об основных теоретических и практических задачах учения о месторождениях полезных ископаемых.
2. Как учение о месторождениях полезных ископаемых связано с фундаментальными геологическими и горными науками?
3. Дайте характеристику основных этапов истории развития учения о полезных ископаемых.
4. Какое значение имеет учение о полезных ископаемых для горной науки и производства, для подготовки горных инженеров?
5. Какими методами изучают полезные ископаемые?

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Полезным ископаемым называют природное минеральное образование, которое используется в народном хозяйстве в естественном виде или после предварительной обработки (переработки) путем дробления, сортировки, обогащения для извлечения ценных металлов или минералов. По физическому состоянию полезные ископаемые бывают газообразными, жидкими и твердыми. К газообразным относятся горючие газы углеводородного состава и негорючие инертные газы, к жидким — нефть, рассолы, воды, к твердым — большинство полезных ископаемых, которые применяются как химические элементы или их соединения, а также кристаллы, минералы, горные породы.

По промышленному использованию полезные ископаемые разделяются на металлические, неметаллические, горючие, или каустобиолиты, гидро- и газоминеральные.

Металлические полезные ископаемые служат для извлечения из них металлов и элементов; черных (железо, титан, хром, марганец); легирующих (никель, кобальт, вольфрам, молибден); цветных (алюминий, медь, свинец, цинк, сурьма, ртуть); благородных (золото, серебро, платина, палладий); радиоактивных (уран, радий, торий); редких и рассеянных (висмут, цирконий, ниобий, тантал, галлий, германий, кадмий, индий); редкоземельных (лантан, церий, иттрий, прометий, самарий, лютеций).

К неметаллическим полезным ископаемым принадлежат строительные горные породы (естественные строительные камни, пески, глины, сырье для каменного литья, стекл и керамики), промышленное сырье (алмаз, графит, асбест, слюды, драгоценные и поделочные камни, пьезокристаллы, оптические минералы).

лы), а также химическое и агрономическое (сера, флюорит, барит, галит, калийные соли, апатит, фосфориты).

Горючие ископаемые включают торф, бурый уголь, каменный уголь, антрацит, горючие сланцы, озокерит, нефть, горючий газ. Они служат энергетическим и металлургическим (кокс) топливом, а также сырьем для химической промышленности.

К *газоминеральному сырью* относятся негорючие инертные газы: гелий, неон, аргон, криптон и др.

Гидроминеральные полезные ископаемые разделяют на подземные воды: питьевые, технические, бальнеологические, или минеральные, и нефтяные, содержащие ценные элементы (бром, йод, бор, радий и др.) в количестве, позволяющем извлекать их, а также рассолы (озерные рассолы, минеральные грязи, илы). Важным гидроминеральным сырьем являются также воды морей и океанов, используемые для получения пресной воды и извлечения многих ценных элементов.

Одним из важнейших видов твердых полезных ископаемых являются руды.

Рудой называется минеральное сырье, содержащее ценные полезные компоненты (металлы, их соединения, минералы) в количестве, достаточном для промышленного извлечения при современном состоянии экономики, техники и технологии. В зависимости от вида извлекаемого компонента выделяются руды металлические (железные, медные, свинцово-цинковые и др.) и неметаллические (серные, асбестовые, графитовые, апатитовые и др.). По количеству компонентов различают руды монометалльные (мономинеральные) биметалльные (биминеральные) и полиметалльные (полиминеральные).

Понятие «полезное ископаемое» и «руда» являются, в известной степени, условными, отражают характерные для определенного исторического периода потребности народного хозяйства в различных видах минерального сырья, технологические возможности и экономические условия их добычи, переработки и промышленного использования.

Так, согласно В.И Вернадскому, человек потреблял в древние века только 18 элементов, к XVIII в. их число возросло до 25, в XIX в. — до 47, в начале XX в. — до 54, а в середине XX в. применялось 80 элементов таблицы Д.И. Менделеева, не считая 12 трансурановых. В XX в. полезными ископаемыми стали калийные соли, урановые руды, нефелин, перлит, волластонит и

многие другие. Промышленное значение приобрели также железистые кварциты (после разработки технологии их обогащения в 1955 г.) и апатит-магнетитовые руды (благодаря применению томасовского способа плавки). В последние годы возросла потребность новых отраслей техники в рассеянных металлах (германий, галлий, рений, индий и др.). Разработка технологии разделения редкоземельных элементов привела к интенсивному использованию их в металлургии специальных высококачественных сталей и сплавов.

Увеличение потребности в полезных ископаемых обусловило значительный рост объемов их добычи. Все новые виды минерального сырья вовлекаются в промышленное использование в связи с запросами вновь возникающих отраслей техники, нуждающихся в новых конструкционных материалах, обладающих высокой твердостью, прочностью и другими специфическими свойствами. Некоторый дефицит отдельных металлов предопределяет необходимость замены их другими металлами или неметаллическим сырьем, добыча которого также резко возросла в связи с ростом строительства, широким применением минеральных удобрений, развитием химической промышленности. Огромные масштабы добычи полезных ископаемых вызывают необходимость наиболее полного извлечения их при добыче и переработке, комплексности использования и уменьшения потерь.

Полезные ископаемые локализуются в пределах определенных участков земной коры, которые называют площадями распространения полезных ископаемых. В порядке уменьшения масштабов их делят на провинции, области (пояса, бассейны), районы или узлы, поля, месторождения и тела полезных ископаемых.

Провинция полезных ископаемых представляет собой крупный участок земной коры, относящийся к платформе или складчатой зоне, со свойственными ему и размещенными в его пределах месторождениями. По этому признаку выделяют провинции Русской и Сибирской платформ. Уральскую (герциниды Урала), Кавказскую (альпиды Кавказа) и др. Различают также провинции по видам минерального сырья: металлогенические, угленосные, нефтегазоносные. Среди металлогенических отмечают провинции докембрийских платформ, каледонских, герцинских, мезозойских и альпийских складчатых зон.

Угленосные провинции разделяют по основным эпохам угленакопления на карбоновые, пермско-юрские, позднемеловые, палеоген-неогеновые. Площади провинций весьма значительны и могут составлять от сотен тысяч до миллиона и более квадратных километров.

Область полезных ископаемых составляет часть провинции и характеризуется набором определенных по составу и происхождению месторождений полезных ископаемых. Они приурочены к одному или к группе крупных тектонических элементов, обуславливающих геологическое строение провинции. К таким структурам на платформах относятся щиты, антеклизы и синеклизы, в пределах складчатых областей — антиклинории, синеклинории, краевые и межгорные прогибы, срединные массивы. Площади областей изменяются от десятков тысяч до первых сотен тысяч квадратных километров. В пределах областей размещение месторождений полезных ископаемых может иметь поясовый или бассейновый характер.

Пояс полезных ископаемых представляет собой область, в пределах которой месторождения приурочены к линейно-вытянутым тектоническим структурам. Выделяют пояса металлогенические, или рудные, нефтегазоносные и угленакопления. Типичными рудными поясами являются полиметаллический пояс Рудного Алтая размером 300×40 км и Яно-Индигино-Колымский золоторудный размером 1000×(60—100) км.

Бассейн — это область почти непрерывного распространения пластовых осадочных полезных ископаемых с площадью от нескольких сотен до нескольких тысяч квадратных километров. Известны бассейны нефти (Волго-Уральский, Западно-Сибирский, Днепрово-Донецкий), угля (Донецкий, Печорский, Кузнецкий, Подмосковный), минеральных солей (Соликамский, Иркутский, Артемовско-Славянский), металлических и неметаллических руд (железа — Криворожский. Керченский; марганца — Никопольский).

Район (узел) полезных ископаемых составляет часть области и характеризуется местным сосредоточением месторождений. Площади рудных районов колеблются от сотен до первых тысяч квадратных километров, площади узлов угленакопления значительно больше. В качестве примера следует назвать 29 узлов полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья.

Поле полезных ископаемых — группа месторождений, объединяемых общностью происхождения и единством геологической структуры. Площади полей составляют от нескольких до десятков квадратных километров. Примерами рудных полей можно считать Алмалыкское, Талханское, Джезказганское и др. Поля полезных ископаемых состоят из месторождений, а последние из тел полезных ископаемых.

Месторождением полезного ископаемого называется его природное скопление в земной коре в виде геологических тел, которое по условиям залегания, количеству и качеству минерального сырья при данном состоянии экономики и техники может служить объектом промышленной разработки в настоящее время или в ближайшем будущем.

При этом количество полезного ископаемого в недрах, выраженное в массовых или объемных единицах, и не учитывающее возможные потери его при добыче, называется запасами.

К месторождениям полезных ископаемых промышленность предъявляет требования, определяемые технической возможностью и экономической целесообразностью их разработки. Совокупность требований к количеству и качеству полезных ископаемых в недрах и горно-геологическим условиям месторождений называют *промышленными кондициями*. Они не являются постоянными и могут меняться в зависимости от экономических условий, состояния техники и технологии добычи и переработки минерального сырья.

Таким образом, понятие «месторождение полезного ископаемого» является не чисто геологическим, а геолого-экономическим.

Телом полезного ископаемого называют ограниченное со всех сторон скопление минерального вещества, которое приурочено к отдельным структурным элементам или их комбинациям.

В пределах каждого месторождения может находиться одно или несколько тел полезных ископаемых.

1.2. ГОРНО–ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

1.2.1. Морфологические характеристики тел полезных ископаемых

Минеральные агрегаты, представляющие собой полезные ископаемые, залегают в земной коре в виде геологических тел различной формы и пространственного положения. Морфологические параметры тел (и месторождений) полезных ископаемых зависят от многих факторов: условий образования полезных ископаемых, от геологического строения тех участков земной коры, к которым они приурочены, от особенностей существования и развития этих участков с момента образования полезного ископаемого вплоть до наших дней. Изучение морфологических характеристик тел (и месторождений) полезных ископаемых имеет большое практическое значение как для составления рациональных проектов разведки месторождений, так и для решения вопросов их эффективного освоения, а именно — обоснования способов разработки, схем вскрытия и подготовки, выбора параметров систем разработки и организации производственных процессов. Поэтому оценка морфологических условий является одной из важнейших задач изучения месторождений как в процессе их разведки (тем более, что морфологические параметры обуславливают количество полезного ископаемого), так и при эксплуатации.

Понятие «Морфология тел полезных ископаемых» включает в себя:

- 1) формы тел;
- 2) характер и форму контактов с вмещающими породами;
- 3) характер выклинивания;
- 4) мощность и ее изменчивость;
- 5) условия залегания;
- 6) выдержанность оруденения;
- 7) соотношение с вмещающими породами по времени образования;
- 8) соотношение с элементами структур и условиями залегания вмещающих пород;
- 9) глубина залегания и распространения;
- 10) степень и характер нарушенности пострудными тектоническими процессами.

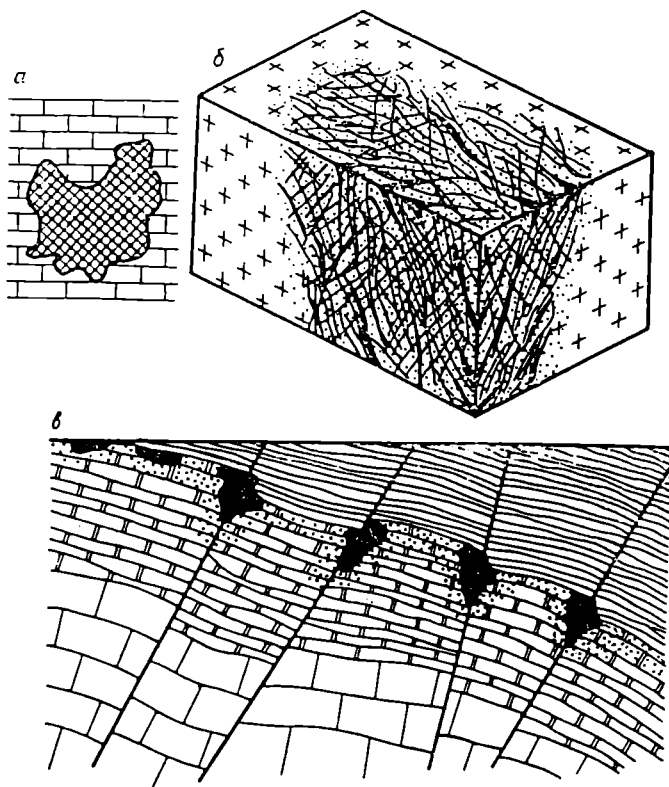


Рис. 1.1. Формы изометричных тел полезных ископаемых:
а — шток (план), б — штокверк, в — гнезда (разрез)

Формы тел. По соотношению размеров выделяются три основных морфологических типа: изометричные, плитообразные (плоские) и трубообразные.

Изометричные тела приблизительно равновелики в трех измерениях. К ним относятся штоки, гнезда и штокверки (рис. 1.1).

Штоком называется крупная (от 10 м) изометричная залежь сплошного или почти сплошного минерального сырья. Примером могут служить штоки каменной соли, гидротермальные метасоматические залежи и др. Если размеры таких залежей не превышают 10 м, их называют *гнездами*. К ним принадлежат тела некоторых месторождений золотых, свинцово-цин-

ковых, хромитовых, ртутных и других руд. Основным элементом, определяющим форму и размеры изометричных тел, является их поперечное сечение.

Когда шток или гнездо сплющены в одном направлении, образуются *линзы* и *чечевицы* — тела, переходные по форме от изометричных к плитообразным.

Штокверк представляет собой более или менее изометричный объем горной породы, пронизанный различно ориентированными прожилками и насыщенный вкрапленностью минерального вещества. Границы промышленной залежи в пределах штокверка устанавливаются по данным опробования. В качестве руды в данном случае рассматривается масса горной породы, пересеченная прожилками, если она удовлетворяет требованиям кондиций. Примерами штокверков могут служить тела некоторых месторождений меди, олова, молибдена и других полезных ископаемых.

Плитообразные (плоские) тела характеризуются двумя большими и одним (мощность) значительно меньшим размером. Это самый распространенный в природе морфологический тип, к которому принадлежат пласты и жилы (рис. 1.2).

Пласт — это плитообразное тело, обычно осадочного происхождения, отделенное от других пород более или менее параллельными плоскостями напластования (подошвой, или почвой, и кровлей пласта). Пласты могут быть простыми, когда они однородны по составу и не включают прослоев вмещающих пород, и сложными, состоящими из чередующихся прослоев полезного ископаемого и вмещающих пород.

Следует отметить, что в структурной геологии чаще используется более общий термин — *слой*.

Пласты могут иметь раздупы и пережимы по мощности, простое или сложное выклини-

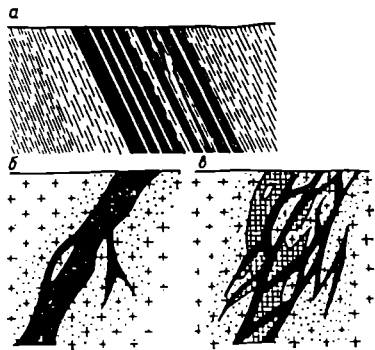


Рис. 1.2. Формы плитообразных (плоских) тел полезных ископаемых:

а — сложный пласт, б — простая жила, в — сложная жила

вание. Примерами могут являться пласты угольных, марганцевых, железорудных и других осадочных месторождений. Тела полезных ископаемых неосадочного происхождения, близкие по форме к пластам, принято называть *пластообразными залежами*.

Жилы, представляют собой трещины в горных породах, заполненные минеральным веществом полезного ископаемого. Их также считают *плитообразными телами*, поскольку, протягиваясь по простиранию и на глубину на десятки и сотни метров, они характеризуются значительно меньшим третьим измерением — мощностью, которая обычно изменяется от нескольких сантиметров до первых метров.

Поверхности, по которым минеральное вещество жилы соприкасается с вмещающими породами называются *зальбандами*. Прилегающие к жиле породы нередко бывают изменены и минерализованы в результате воздействия минерализованных растворов на окружающие породы и вокруг жилы образуется ореол околожильного изменения, в пределах которого существенно изменены свойства пород (как в сторону повышения, так и понижения прочностных характеристик) и иногда содержится промышленная концентрация полезных компонентов. При резком уменьшении мощности жилы говорят о ее *выклинивании* или *пережиме*, при увеличении мощности — о *раздуве*.

Жилы так же, как и пласты, делят на простые и сложные. К простым относятся одиночные минерализованные трещины, к сложным — системы переплетающихся трещин, зоны дробления, расслаивания (см. рис. 1.2, б, в).

По деталям морфологии среди жил различают *четковидные*, *камерные*, *седловидные*, *лестничные*, *разлистования* и др. (рис. 1.3).

Для ветвящихся (*сетчатых*) жил типично наличие ответвлений (*апофиз*), отходящих от основной рудной жилы в сторону ее лежащего или висящего боков. Такие формы свойственны многим месторождениям слюдоносных и редкометалльных пегматитов. Лестничная жила состоит из системы поперечных трещин в пластах или дайках хрупких пород, залегающих среди более пластичных образований.

Жила *разлистования* представляет собой систему жил и прожилков, возникающих вследствие выполнения минеральным веществом сложной сети тонких более или менее параллельных трещин, приуроченных к зоне расланцевания. В камерных и

четковидных жилах по их простиранию чередуются раздувы различной формы и пережимы. Седловидные жилы приурочены к замковым частям складчатых структур. Наиболее характерны тела жильной формы для месторождений цветных, редких и благородных металлов.

Основными геологическими элементами, определяющими размеры и условия залегания плитообразных тел, являются направление простирания и длина по простиранию, направление и угол падения, длина по нему, а также мощность.

Залегание плитообразных тел (пластов, пластообразных тел, жил) может быть горизонтальным, наклонным или вертикальным. В случае горизонтального или наклонного залегания породы, перекрывающие тело, лежащие над кровлей, называются породами висячего бока, а подстилающие его, лежащие под ним — породами лежачего бока.

Трубообразные (столбообразные) тела полезных ископаемых вытянуты по одной оси. Поперечное сечение таких тел может быть изометричным, эллиптическим, линзообразным (рис. 1.4).

Морфология и условия залегания трубообразных тел определяются углом погружения (или ныряния), длиной по направлению погружения и площадью поперечного сечения. Угол погружения — это угол между осью трубообразного тела и горизонтальной плоскостью; он может изменяться от 0 до 90°. Размеры поперечного сечения и длина оси достаточно изменчивы.

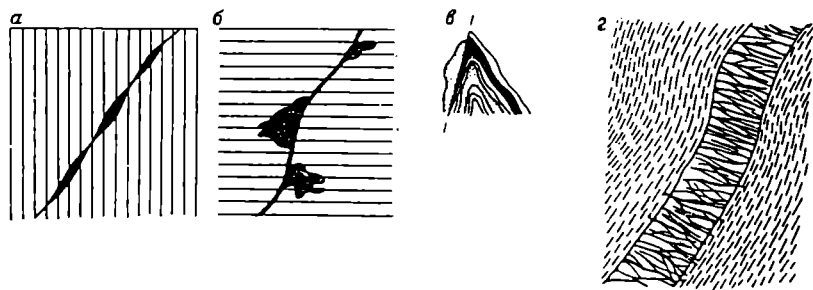


Рис. 1.3. Формы жильных тел полезных ископаемых:
а — четковидная, б — камерная, в — седловидная, г — лестничная

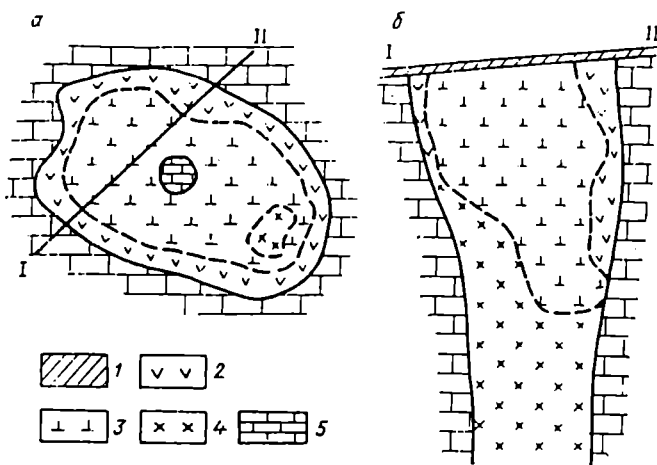


Рис. 1.4. Трубообразное тело:

а — геологический план, *б* — разрез кимберлитовой трубки (по А.П. Бобривичу). 1 — наносы; 2—4 — кимберлит: 2 — измененный желтый, 3 — измененный зеленый, 4 — малоизмененный; 5 — карбонатные породы

На месторождениях полезных ископаемых трубообразные тела встречаются довольно редко. Наиболее типичные представители их — алмазоносные трубки взрыва и рудные столбы. Рудными столбами называют обогащенные полезными компонентами участки столбообразной формы, заключенные среди более бедных руд, или участки жил с резко увеличенной мощностью, которые (участки) имеют изометричное поперечное сечение и вытянуты по падению жилы. Такие рудные столбы чаще всего образуются в местах пересечения разноориентированных жил.

Контактами тел полезных ископаемых называют их границы с окружающими (вмещающими) породами. В случае наклонного или горизонтального залегания верхний контакт является *висячим*, в нижний — *лежачим*. По характеру контакты бывают *четкими* (резкими), когда граница между полезными ископаемыми и вмещающими породами видна невооруженным глазом, и *постепенными*, если сплошная масса полезного ископаемого переходит в породу через зону постепенно убывающей вкрапленности. В этом случае граница между полезным ископаемым и породой устанавливается по результатам опробования. По форме контакты бывают ровными и сложными (извилистыми).

Выклинивание — окончание тела полезного ископаемого по простиранию и падению. Различают три основных типа выклинивания: *простое* — когда мощность полезного ископаемого постепенно уменьшается до полного исчезновения, *тупое* — если полезное ископаемое в направлении простирания или падения прекращается резко (например, в результате смещения по тектоническому нарушению, или срезано эрозионными процессами) и *сложное* — когда тело полезного ископаемого расщепляется на тонкие пропластки и прожилки или незакономерно рассеивается.

Мощность полезного ископаемого, как и горных пород, — это расстояние между кровлей (висячим контактом) и подошвой (лежачим контактом). Мощность может быть *истинной* (кратчайшее расстояние) и *видимой* (любое расстояние между кровлей и подошвой). Помимо геологического определения мощности существуют понятия промышленной мощности полезного ископаемого. *Рабочей* считается минимальная мощность, при которой полезное ископаемое целесообразно эксплуатировать. Этот вид мощности также иногда называют *минимальной выемочной* или *кондиционной*. *Эксплуатационной* называется суммарная мощность полезного ископаемого и породы, прихватываемой в процессе разработки. *Полезная мощность* определяется как сумма мощностей пропластков полезного ископаемого в пределах эксплуатационной мощности.

Месторождения плитообразной формы бывают как однопластовые, так и многопластовые. В последнем случае вводится понятие «*продуктивной толщи*» и ее мощности — как суммы мощностей полезного ископаемого и окружающих пород. В этом случае может разрабатываться как вся продуктивная толща, так и каждое рудное тело или группа тел отдельно друг от друга. Богатство продуктивной толщи определяется *коэффициентом продуктивности* (для угленосных толщ) или *коэффициентом рудоносности* (для других видов полезных ископаемых) — отношением суммарной мощности полезного ископаемого к общей мощности продуктивной (рудоносной) толщи.

Условия залегания тела полезного ископаемого (как и любого другого геологического тела) характеризуют его положение в пространстве. Помимо уже известных для горных пород элементов залегания (линия простирания, линия падения и угол падения) для характеристики условий залегания тел полезных ископаемых добавляются еще два: линия восстания и склонение.

Линия восстания получается так, же как и линия падения (пересечением с поверхностью геологического тела вертикальной плоскости перпендикулярной линии простираия), но направлена в противоположном от линии падения направлении — в сторону наибольшего подъема тела. Угол восстания равен углу падения.

Склонение тела полезного ископаемого — отклонение по мере углубления длинной оси рудного тела от направления простираия. Угол, образованный длинной осью рудного тела с линией простираия называется углом склонения.

По характеру залегания тела полезных ископаемых (как и горные породы) могут иметь горизонтальное, наклонное (моноклиналиное), складчатое или складчато-разрывное залегание.

При описании условий залегания тел полезных ископаемых следует иметь в виду, что в качестве горно-геологической характеристики имеют значение не столько средние значения элементов залегания, сколько их изменчивость.

Выдержанность оруденения является характеристикой степени прерывистости (или непрерывности) полезного ископаемого в пределах его рабочего контура (или мощности). С этой точки зрения выделяются четыре типа залежей:

- выдержанные — в пределах тела полезного ископаемого по всей его площади (и мощности) участки, не содержащие промышленных концентраций полезного ископаемого, практически отсутствуют;
- относительно выдержанные — в пределах рабочего контура присутствуют участки с непромышленным оруденением или вообще безрудные, но общая площадь таких участков не превышает 25 % всей площади тела полезного ископаемого;
- невыдержанные — внутри рабочего контура участки с нерабочей мощностью (или пустыми породами) занимают от 25 до 50 %;
- крайне невыдержанные — площадь некондиционных участков или пустой породы составляет более 50 % от площади всей залежи.

Выдержанность оруденения может также характеризоваться площадным или объемным коэффициентом рудности (K_p): выдержанные — K_p более 0,9; относительно выдержанные

— K_p — 0,9—0,75; невыдержанные — K_p — 0,75—0,5 и крайне невыдержанные — K_p менее 0,5.

По возрастному соотношению с вмещающими породами различают две группы рудных тел (и месторождений): сингенетические и эпигенетические.

Сингенетическими являются тела, сформировавшиеся одновременно или почти одновременно с окружающими породами. Типичными примерами могут служить практически все осадочные месторождения.

Эпигенетическими называются тела, образовавшиеся позднее вмещающих пород. К этой группе относятся различного рода жилы и алмазоносные трубки взрыва.

По соотношению с условиями залегания вмещающих пород и элементов структур выделяют тела согласные и секущие.

Секущие — тела полезных ископаемых, пересекающие вмещающие породы, или имеющие условия залегания заметно отличающиеся от условий залегания вмещающих пород и элементов структур. Секущие тела всегда являются эпигенетическими по отношению к вмещающим породам.

Среди *согласных тел* следует различать полностью согласные, когда тела подземных ископаемых имеют те же условия (и элементы) залегания, что и вмещающие породы. Как правило, это тела сингенетические по отношению к вмещающим породам (практически все осадочные месторождения).

Эпигенетические тела по этому признаку разделяются на три группы:

- согласные или почти *согласные с элементами слоистости* вмещающих пород (минерализованные пласты, тела гидротермально-осадочных и инфильтрационных месторождений);
- несогласные с напластованием окружающих пород, но *согласные с контактными поверхностями* пород различного состава или генезиса (тела в стратифицированных интрузиях, скарнах, остаточные месторождения выветривания и др.);
- несогласные с напластованием окружающих пород или залегающие в неслоистых породах, но *согласные с условиями залегания или положением рудовмещающих структур* (тектоническими трещинами определенного порядка, пересечением трещин друг с другом или с замковыми частями складок и др.).

Глубина залегания — это расстояние по вертикали от земной поверхности до верхней кромки тела полезного ископаемого. С этой точки зрения выделяют тела поверхностные, выходящие на поверхность, приповерхностные, глубина залегания которых менее 100 м, и глубинные, залегающие на глубинах более 100 м.

Глубина распространения оруденения — расстояние от земной поверхности до нижней границы оруденения. Размах оруденения — разность между глубиной распространения и глубиной залегания.

Тела полезных ископаемых любой формы иногда нарушены постминерализационными тектоническими деформациями, усложняющими первоначальную структуру месторождения и нередко вызывающими серьезные трудности при ведении горных работ. Во-первых, они приводят к изменению форм тел, ухудшают условия разработки или делают ее невозможной. Во-вторых, по зонам тектонических нарушений движутся грунтовые воды. В-третьих, в таких зонах полезное ископаемое смято и раздроблено, качество его ухудшено, проходка и крепление выработок затруднены.

Постминерализационные тектонические нарушения (деформации) делятся на складчатые и разрывные. Складчатые нарушения наиболее характерны для осадочных месторождений металлического и неметаллического сырья и угля. Если им подвержены жесткие непластичные полезные ископаемые (железные руды, известняки), то изменения мощности тела не отмечается. При складчатых деформациях пластичных полезных ископаемых (гипс, уголь, соль, графит) обычно происходит уменьшение мощности пластов на крыльях и увеличение в замках складок.

Наиболее распространенными на месторождениях разрывными нарушениями являются сбросы, взбросы и сдвиги. Они характерны как для эндогенных, так и для экзогенных месторождений. Обычно встречаются комбинации различных нарушений. По взаимоотношению простираний залежи и сместителя сбросы и взбросы делят на продольные, поперечные и диагональные.

При изучении разрывных тектонических нарушений часто важно определить направление движения отдельных блоков, что помогает обнаружить смещенную часть тела полезного ископаемого. Для этой цели используют такие геологические и

структурные признаки как загибы пластов (пласты пластичных пород нередко изогнуты по направлению движения), борозды на зеркалах скольжения (глубина борозд уменьшается в направлении движения), ориентировка «слоистости» в глинке трения и др.

1.2.2. Качественные характеристики полезных ископаемых

Все полезные ископаемые формируются в земной коре в самых разнообразных физико-химических условиях являясь результатом действия и взаимодействия эндогенных и экзогенных геологических процессов. Вследствие этого качественные характеристики весьма многообразны и зависят от многих факторов: процессов образования и особенностей их протекания, условий залегания, строения и состава (химического и минерального) окружающих горных пород, строения и особенностей развития тех участков земной коры, в пределах которых они расположены, расчлененности рельефа земной поверхности и др.

Изучение качественных характеристик полезных ископаемых имеет едва ли не самое основное значение для определения параметров разведочной сети, от которых зависят полнота и достоверность геологической информации, а также продолжительность и стоимость разведки. В то же время, качественные показатели во многом обуславливают экономические показатели горнодобывающего предприятия, т.к. с их помощью определяется количество полезных компонентов, а также технология обогащения и переработки минерального сырья.

В общем случае качество минерального сырья характеризуется рядом свойств, которые определяют его соответствие назначению (области использования), сохраняемость и технологичность.

К свойствам (характеристикам) полезного ископаемого, которые обуславливают его соответствие назначению, относятся: вещественный (минеральный и химический) состав, текстурно-структурные характеристики, содержание основных полезных компонентов, содержание сопутствующих (попутных) полезных компонентов, содержание вредных компонентов, распределение полезных и вредных компонентов в объеме месторождения или тела полезного ископаемого.

Качество горнорудного сырья определяется содержанием полезных минералов и совокупностью показателей, характеризующих их специфические свойства, которые устанавливают возможности и условия промышленного использования. Такими свойствами для различных видов минерального сырья являются: окраска, отсутствие дефектов кристаллической структуры, масса алмазов; гибкость, длина волокна и кислотоупорность асбеста и др. Важные показатели — сортность сырья по ГОСТу и выход каждого сорта.

Качество полезных ископаемых оценивается по физико-техническим свойствам, определяющим их промышленное значение. Такими показателями для каменных строительных материалов являются прочность, декоративность, блочность и др. Основные свойства, характеризующие качество углей, — зольность, влажность, кусковатость, содержание минеральных примесей, серы и фосфора, теплота сгорания.

Сохраняемость (способность сохранять свои свойства без изменений при достаточно длительном хранении) применительно к минеральному сырью, это стойкость к выветриванию, окисляемость, способность к слеживанию или самовозгоранию и др. обуславливается прежде всего вещественным составом, структурно-текстурными характеристиками, а также физико-химическими и физико-механическими свойствами.

Технологичность (свойства, определяющие условия и особенности обогащения и переработки) — обогатимость, флотуемость, абразивность и др. зависят также от вещественного состава, структурно-текстурных характеристик и физико-механических свойств.

Технологические свойства минерального сырья:

- минеральный (фазовый) состав сырья, распределение полезных компонентов и вредных примесей по отдельным минералам;
- формы и размеры минеральных зерен, характер их срастания друг с другом, с пороодообразующими и жильными минералами, текстуры и структуры минеральных агрегатов;
- физические свойства минерального сырья и слагающих его полезных минералов, их твердость, хрупкость, плотность, химический и минеральный состав вмещающих пород и жильной массы.

Таким образом, понятие «качество полезного ископаемого» включает в себя комплекс разнообразных показателей:

1. Вещественный (минеральный и химический) состав;
2. Структурно-текстурные характеристики;
3. Содержание основных, сопутствующих и вредных компонентов;
4. Распределение ценных и вредных компонентов в объеме месторождения или тела полезного ископаемого;
5. Физико-механические и физико-химические свойства.

Вещественный состав металлических и неметаллических руд определяется соотношением рудных, или ценных, и сопутствующих им нерудных, или жильных, минералов. В металлических рудах рудные минералы являются носителями ценных металлов (табл. 1.1), в неметаллических — ценные минералы служат носителями элементов-металлоидов или же сами представляют практический интерес благодаря специфическим свойствам.

Количественные соотношения между рудными и сопутствующими жильными минералами колеблются в разных месторождениях в широких пределах. Так, в золотоносных жилах кварца на долю золота приходится тысячные доли процента, в полиметаллических рудах содержание галенита и сфалерита может достигать 30—50 %; богатые руды железа почти целиком состоят из рудных минералов.

Таблица 1.1

Главные ценные минералы руд

Элемент	Минерал	Формула	Содержание элемента, %	Плотность $\rho \cdot 10^3$, кг/м ³
1	2	3	4	5
Алюминий	Диаспор	AlO (OH)	47,2	3,3
-«-	Бёмит	AlO (OH)	47,2	3
-«-	Гидраргиллит (гипсбит)	AlO (OH) ₃	36,2	2,4
-«-	Нефелин	KNa ₃ [AlSiO ₄]	18,9	2,6
-«-	Алунит	KAl ₃ [SO ₄] ₂ (OH) ₆	20,5	2,7
Барий	Барит	(Ba, Sr)[SO ₄]	58	4,3
Бериллий	Берилл	Be ₃ Al ₂ [Si ₆ O ₁₈]	5,1	2,7
Вольфрам	Вольфрамит	(Fe, Mn)[WO ₄]	60,5	7

1	2	3	4	5
-".	Шеелит	$\text{Ca}[\text{WO}_4]$	63,8	6
Железо	Магнетит	Fe_3O_4	72,3	5,2
-".	Гематит	Fe_2O_3	70	5,2
-".	Лимонит	$\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$	55	4
-".	Сидерит	$\text{Fe}[\text{CO}_3]$	48,1	3,8
-".	Ильменит	$(\text{Mg}, \text{Fe})\text{TiO}_3$	36,8	4,5
Калий	Сильвин	KCl	52,4	2
-".	Карналлит	$\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	14,1	1,6
Литий	Сподумен	$\text{LiAl} [\text{Si}_2 \text{O}_6]$	8,1	3,2
-".	Лепидолит	$\text{KLi}_2 \text{Al} [\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{Fe} \text{ OH})_2$	3,7	2,8
Марганец	Пиррокозит	MnO_2	63,2	4,8
-".	Манганит	$\text{MnO} (\text{OH})$	62,5	4,3
-".	Псиломелан	$m\text{MnO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	45	4,6
Медь	Медь самородная	Cu	100	8,8
-".	Халькозин	Cu_2S	79,8	5,7
-".	Ковеллин	$\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{CuS}_2$	66,5	4,7
-".	Халькопирит	CuFeS_2	34,6	4,2
-".	Борнит	Cu_5FeS_4	63,3	5,2
-".	Куприт	Cu_2O	88,8	6
-".	Малахит	$\text{Cu}_2[\text{CO}_3](\text{OH})_2$	57,5	4
-".	Азурит	$\text{Cu}_3[\text{CO}_3]_2 (\text{OH})_2$	55,3	3,8
Молибден	Молибденит	MoS_2	60	4,8
Мышьяк	Арсенопирит	FeAsS	46	6
-".	Реальгар	AsS	70,1	3,5
-".	Аурипигмент	As_2S_3	61	3,5
Никель	Пентландит	$(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$	34,2	4,8
-".	Силикаты никеля	—	18	2,8
Олово	Касситерит	SnO_2	78,7	7
Ртуть	Киноварь	HgS	86,2	8,1
Свинец	Галенит	PbS	86,6	7,5
Сера	Сера самородная	S	100	2
-".	Пирит	FeS_2	53,4	5,2
-".	Пирротин	Fe_{1-x}S	36,5	4,6
-".	Гипс	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	23,2	2,3
Сурьма	Антимонит	Sb_2S_3	71,4	4,6

1	2	3	4	5
Титан	Рутил (титанит)	TiO ₂	60	4,2
-"	Ильменит	(Mg, Fe) TiO ₃	31,6	4,7
Фосфор	Апатит	Ca ₅ (PO ₄)(F, Cl, OH)	41,5	3,2
-"	Фосфорит	Смесь апатита и гид- роксилapatита	20	3
Фтор	Флюорит	CaF ₂	48,8	3,2
Хром	Хромит	FeCr ₂ O ₄	46,4	4,4
Цинк	Сфалерит	ZnS	67,1	3,8

По составу преобладающей части минералов выделяются следующие типы руд:

- самородные — самородные металлы и интерметаллические соединения — медь, золото, платина;
- сернистые и им подобные — сульфиды, арсениды и антимониды тяжелых металлов — меди, цинка, свинца, никеля, кобальта, молибдена;
- оксидные — оксиды и гидроксиды железа, марганца, хрома, олова, урана, алюминия;
- карбонатные — карбонаты железа, марганца, магния, свинца, цинка, меди;
- сульфатные — сульфаты бария, стронция, кальция;
- фосфатные — апатитовые и фосфоритовые неметаллические руды, а также фосфаты некоторых металлов;
- силикатные — сравнительно редкие руды железа, марганца, меди; широко распространенные неметаллические полезные ископаемые — слюда, асбест, тальк;
- галоидные — минеральные соли и флюорит.

По вещественному составу, определяющему промышленную ценность и технологические свойства, полезные ископаемые разделяются на природные типы и промышленные сорта.

Типами полезных ископаемых называют их природные разновидности, выделяемые в зависимости от минерального состава, текстурных и структурных особенностей с учетом возможности пространственного обособления. *Промышленные сорта* включают один или несколько природных типов полезных ис-

копаемых, разработка которых рентабельна и обеспечивает необходимое качество получаемой продукции.

Специфический состав имеют твердые горючие ископаемые — угли, горючие сланцы; они содержат органические и неорганические компоненты. Органические компоненты представляют собой обособленные элементы исходного растительного материала и продуктов его преобразования. Они обычно различаются под микроскопом, так как, с одной стороны, обладают определенными морфологическими и структурными признаками, а с другой, — изменчивым под влиянием геологических факторов химическим составом и физическими свойствами. По особенностям состава и свойств среди твердых горючих ископаемых выделяют макротипы (литотипы), микролитотипы и микрокомпоненты.

К неорганическим компонентам, обязательно присутствующим в твердых горючих ископаемых в больших или меньших количествах, относятся минеральные примеси (глинистые минералы, карбонаты, сульфиды железа, кварц и др.). Кроме минеральных примесей в твердых горючих ископаемых содержится от 15 до 60 % влаги.

В состав органических компонентов входят углерод, водород, кислород, азот, сера и фосфор. Минеральные примеси и вода считаются балластом. Сера и фосфор принадлежат к вредным примесям. Содержание балластных и вредных составляющих для большинства направлений использования твердых горючих ископаемых строго лимитируется (подробные сведения о вещественном составе, свойствах и направлениях использования твердых горючих ископаемых приведены в разделе «Горючие ископаемые»).

Текстурно-структурные особенности полезных ископаемых являются важными показателями оценки качества минерального сырья для технологических целей. Взаимоотношения минеральных агрегатов, форма, размеры и способы сочетания в них минералов влияют на схему переработки полезных ископаемых, обуславливают оптимальную крупность их дробления и измельчения, обеспечивающую наиболее полное раскрытие зерен и извлечение полезных компонентов в соответствующие концентраты.

Текстура полезных ископаемых определяется пространственным взаиморасположением минеральных агрегатов, отличающихся друг от друга по составу, форме, размерам и струк-

туре. По масштабам проявления выделяют мега-, макро- и микротекстуру. Первая характеризует крупные по площади минеральные агрегаты, взаимоотношения между которыми изучаются в естественных или искусственных обнажениях. Макроструктура различается визуально в отдельных штуфах полезного ископаемого. Микротекстура наблюдается под микроскопом.

Структура полезных ископаемых определяется формой, размерами и способом сочетания отдельных минеральных зерен или их обломков в пространственно обособленных минеральных агрегатах. Микроструктура изучается в мелкозернистых агрегатах под микроскопом.

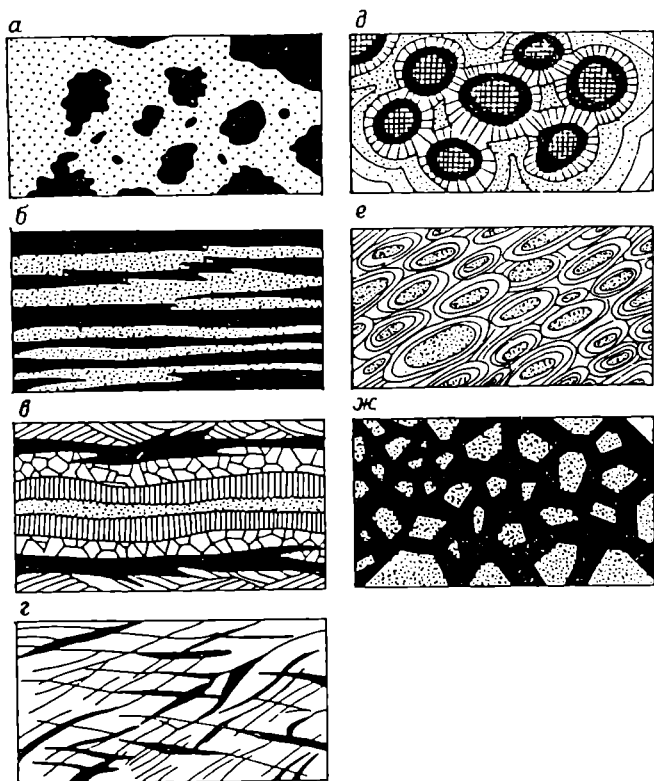


Рис. 1.5. Типы текстур полезных ископаемых (по В.И. Смирнову):

а — пятнистая, б — полосчатая, в — кристаллическая, г — прожилковая, д — кокардовая, е — оолитовая, ж — брекчиевая

По морфологическим признакам выделяются следующие типы текстур полезных ископаемых: массивная, пятнистая, полосчатая, прожилковая, сфероидальная, почковидная, дробленая, пустотная, каркасная, рыхлая (рис. 1.5).

Массивная (сплошная) текстура характеризуется равномерным выполнением пространства агрегатами моно- или полиминерального состава; она распространена на месторождениях всех генетических типов.

Пятнистой (такситовой, вкрапленной) текстуре свойственны неправильные выделения рудных минералов среди нерудной минеральной массы. Она отмечается в месторождениях всех типов, кроме осадочных.

Полосчатая структура и ее разновидности — ленточная, слоистая, линзовидная, плейчатая, гнейсовидная, гребенчатая и др. — представлены чередованием полос различного минерального состава или с различной структурой. Отдельные разновидности полосчатой текстуры присущи месторождениям определенных типов: слоистая — осадочным, гнейсовидная, сланцеватая и плейчатая — метаморфогенным, гребенчатая (крустификационная) и поточная (флуктуационная) — магматогенным.

Прожилковая текстура типична для магматических и гидротермальных месторождений. Она образуется системой сетчатых, пересекающихся или почти параллельных прожилков.

Сфероидальная текстура отличается концентрическими выделениями минеральных агрегатов. Для различных типов месторождений характерны отдельные ее разновидности: нодулярная — для магматических, кокардовая, друзовая и секреционная — для гидротермальных, конкреционная и секреционная — для месторождений выветривания, оолитовая, бобовая, конгломератовая — для осадочных, кольцевая, друзовая и лучистая — для метаморфогенных.

Почковидная текстура возникает при выделении минеральных масс из коллоидных растворов. Наиболее часто она наблюдается в рудах месторождений выветривания и гидротермальных.

Текстура дробления формируется в результате дробления минеральных масс ранней генерации и последующей цементации обломков минералами поздних генераций. Отдельные ее разновидности — брекчиевая, брекчиевидная, петельчатая — отмечаются в рудах месторождений метаморфогенных, магматических, гидротермальных и выветривания.

Пустотная (пористая, пузырчатая, сотовая) текстура типична для отдельных участков месторождений выветривания и отличается кавернозным строением рудной массы, обусловленным избирательным выщелачиванием минералов.

Каркасная (ячеистая, ящичная) текстура также возникает в зоне окисления рудных месторождений. Она представлена системой тонких минеральных перегородок, ячейки которых выполнены рыхлой минеральной массой.

Рыхлая (обломчатая, землистая, порошковая, сажистая) текстура наблюдается на месторождениях выветривания и осадочных. Она свойственна слабо уплотненным осадкам, сложенным обломками и зернами различного размера.

Среди структур полезных ископаемых по морфологическим признакам выделяются следующие типы: равномернозернистая, неравномернозернистая, пластинчатая, волокнистая, зональная, кристаллографически ориентированная, тесного срастания, замещения, дробления, колломорфная, сферолитовая, обломочная (рис. 1.6).

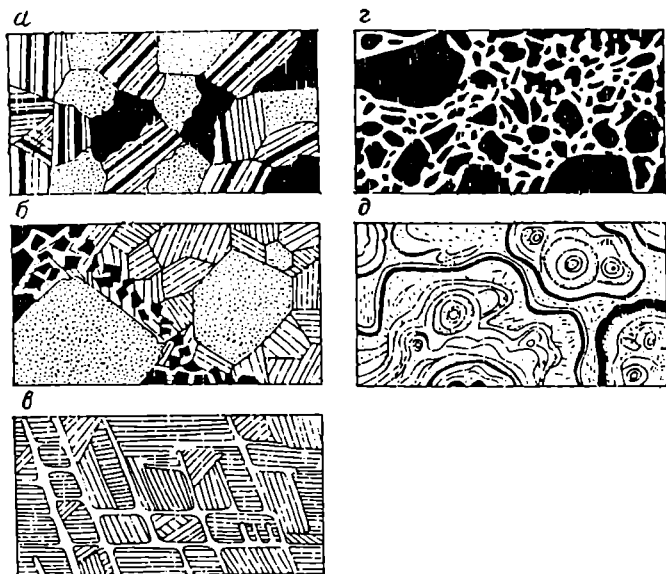


Рис. 1.6. Типы структур полезных ископаемых (по В.И. Смирнову):
а — равномернозернистая, б — неравномернозернистая, в — кристаллографически ориентированная, г — дробления, д — колломорфная

Равномернозернистая структура характеризует минеральные агрегаты, сложенные зернами минералов приблизительно одного размера. Она типична для эндогенных месторождений. В рудах магматогенных месторождений встречаются равномернозернистые структуры отложения (гипидиоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая, сидеронитовая и др.), а метаморфогенных — структуры перекристаллизации.

Неравномернозернистая структура отмечается в мелкозернистых агрегатах, включающих выделения крупных зерен, или в крупнозернистых агрегатах, содержащих мелкие включения какого-либо минерала. Этот тип структур присущ магматическим и гидротермальным месторождениям.

Пластинчатая и волокнистая структуры, наблюдаемые в эндогенных месторождениях, характеризуются соответственно пластинчатой и нитевидной формой слагающих полезное ископаемое минеральных выделений.

Зональная структура выражается в закономерном чередовании минеральных полос, последовательно отлагающихся из гидротермальных растворов.

Кристаллографически ориентированная структура (решетчатая, эмульсионная) свойственна магматическим, пегматитовым и реже гидротермальным месторождениям. Для нее типичны выделения одного минерала по кристаллографическим направлениям другого.

Структура тесного срастания (сетчатая, графическая и др.) возникает в результате глубокого проникновения одних минералов в другие с образованием сложных извилистых границ. Она встречается преимущественно в магматогенных месторождениях.

Структура замещения формируется в процессе метасоматического выделения одних минералов по контурам ранее образовавшихся. Ее разновидности — петельчатая, скелетная, реликтовая — отмечаются в рудных зонах выветривания гидротермальных месторождений.

Структура дробления наблюдается в основном в метаморфогенных месторождениях. Она является результатом отложения поздних минералов в разрушенных зонах ранее выделявшихся агрегатов.

Колломорфная структура полезных ископаемых коры выветривания, а также осадочного и гидротермального происхо-

ждения развивается при выделении минералов из коллоидных растворов.

Сферолитовая структура отличается лучистым или концентрически-округлым строением минерального агрегата. Она наблюдается в рудах месторождений выветривания и гидротермальных.

Обломочная структура типична для осадочных месторождений. Она характерна для раздельнозернистых или сцементированных минеральных масс.

Содержание (количество металла, оксида или минерала в единице массы или объема) полезных и вредных компонентов или минералов является важнейшей характеристикой качества полезных ископаемых.

Качество металлических и агрономических руд, горно-химического сырья определяется их вещественным составом и характеризуется содержанием полезных компонентов и вредных примесей. В коренных рудах определяется содержание металлов (меди, железа, марганца, кобальта, никеля и др.) или оксидов соответствующих элементов (Al_2O_3 , TiO_2 и др.). Качество россыпных полезных ископаемых выражается в единицах плотности песков или горной массы (кг/м^3 горной массы магнетита, хромита, циркона и др. или г/м^3 песков золота, платины при раздельной добыче и др.).

По содержанию основного компонента выделяются руды богатые, рядовые и бедные (убогие), но для разных видов полезных ископаемых границы сортов руд весьма различны. Например, для железа богатыми считаются руды, с содержанием железа более 60 %, для меди — 3 %, олова — 1 %, золота — 10 г/т (0,0001 %) и др.

Вредные примеси оказывают существенное влияние на оценку качества многих видов минерального сырья, особенно руд черных металлов. Так, для руд железа и марганца вредной примесью являются сера и фосфор. Даже небольшие содержания этих примесей в железных рудах ухудшают качество получаемого металла, снижают производительность металлургических агрегатов. Фосфор при его высоком (более 5 %) содержании в железных рудах из вредной примеси переходит в полезный компонент. С другой стороны, наличие в железной руде в небольшом количестве полезных примесей (хрома, ванадия, титана) улучшает качество руды, делает ее природно-легированной.

В связи с тем, что абсолютное большинство месторождений содержат два и более полезных компонентов, рентабельность разработки во многом зависит от уровня комплексного использования минерального сырья.

К числу попутных полезных ископаемых (компонентов) относятся, в соответствии с классификацией ГКЗ РФ:

- породы вскрыши и совместно залегающие полезные ископаемые иного вида, чем слагающие основные рудные тела;
- второстепенные рудные и нерудные минералы (пирит, сфалерит, галенит, барит и др.), извлекаемые в одноименные товарные концентраты или промпродукты, либо элементы, присутствующие в концентратах основных металлов в составе минеральных и иных примесей, извлекаемых на стадии металлургической или гидрометаллургической переработки концентратов (золото и серебро — при переработке медных и свинцовых концентратов, сера — при обжиге медных и цинковых концентратов и др.);
- редкие и рассеянные элементы в составе рудообразующих минералов основных промышленных концентратов цветных металлов (ртуть) кадмий и индий в цинковых концентратах, галлий, рубидий, цезий — в нефелиновых концентратах и бокситах и др.).

Необходимость обязательного извлечения попутных компонентов может обуславливаться и внеэкономическими соображениями, например, с целью охраны окружающей среды.

Распределение полезных и вредных компонентов в объеме тела или месторождения полезных ископаемых имеет важное значение для организации стабильности качества добываемой руды в процессе разработки месторождения.

Распределение компонентов может быть закономерным или случайным. В первом случае обычно наблюдается определенная зональность оруденения — например, последовательная смена минеральных типов или промышленных сортов по простиранию (от одного фланга к другому), по падению (сверху-вниз), по мощности (от лежачего контакта к висячему); или чередование через определенные расстояния сортов и типов руд и др.

При отсутствии четко выраженных закономерностей оценивается степень равномерности (или неравномерности) распределения содержания компонентов с помощью приемов ма-

тематической статистики. В практике геологоразведочного дела для приближенной оценки степени неравномерности распределения полезных и вредных компонентов часто применяется коэффициент вариации V , характеризующий колеблемость частных значений измеряемого параметра относительно среднего. Коэффициент вариации определяется по формуле:

$$V = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2}{n-1}}}{\bar{C}} \cdot 100 \%,$$

где C_i — значение содержания компонента в каждой пробе; \bar{C} — среднее содержание компонента в рудном теле или его участке; определяемое способом среднего арифметического n — количество измерений (проб).

Распределение компонентов считается равномерным, если коэффициент вариации не превышает 40 %, неравномерным при $V = 40$ —100 %, весьма неравномерным при $V = 100$ —150 % и крайне неравномерным при V , превышающем 150 %.

1.2.3. Гидрогеологические и инженерно-геологические факторы и показатели освоения месторождений

Гидрогеологические и инженерно-геологические показатели и факторы освоения месторождений полезных ископаемых определяются строением геологического массива, составом слагающих его пород, их обводненностью, мероприятиями, необходимыми для борьбы с ней, а также способами организации водопользования строящихся и эксплуатируемых на базе этих месторождений горных предприятий.

Многофакторность категории «гидрогеологические и инженерно-геологические факторы освоения месторождений полезных ископаемых» предопределяет необходимость для их оценки рассматривать всю систему признаков, характеризующих состояние объекта и связанных с ним процессов, в т. ч. и горно-технологических. При таком подходе степень сложности условий устанавливается либо по совокупности признаков (геоиндикатор сложности объекта), либо по признаку, относящемуся к более высокой категории сложности.

Гидрогеологические факторы, определяющие условия разработки месторождений, отражают прежде всего характер и степень их обводненности. Главные факторы — это пространственное распространение водоносных горизонтов и режим поступления подземных вод в горные выработки. Другими факторами обводненности являются следующие: климатические условия, рельеф и гидрография района; геологическое строение и тектоническая нарушенность месторождения; характер и степень развития экзогенных изменений — зон выветривания, карста и др.; условия залегания и морфология тел полезных ископаемых, их пространственное соотношение с водоносными горизонтами и комплексами; техногенные нарушения гидрогеологического режима района месторождения в связи с его освоением.

Обводненность месторождений полезных ископаемых может быть охарактеризована: коэффициентом водообильности, показывающим какое количество воды требуется откачать, чтобы добыть 1 т полезного ископаемого (т/м^3); водопритоком в шахту (карьер) на момент полного развития горных работ ($\text{м}^3/\text{ч}$); числом водоносных горизонтов, участвующих в обводненности и их гидродинамическими характеристиками; удельными водопритоками — притоками, приходящимися на единицу пройденной выработки или единицу отработанной площади после выемки полезного ископаемого. Классификация месторождений полезных ископаемых по показателям обводненности приведена в табл. 1.2.

Таблица 1.2.

Классификация месторождений полезных ископаемых по показателям обводненности (по М.В. Сыровятко)

Гидрогеологический показатель обводненности	Тип месторождения по обводненности			
	весьма водообильные	высоководообильные	средневодообильные	слабоводообильные
Коэффициент водообильности, $\text{м}^3/\text{т}$	> 25	25—8	8—3	< 3
Водоприток к шахтному (карьерному) полю при полном развитии горных работ, $\text{м}^3/\text{ч}$	> 1000	1000—300	300—100	< 100
Коэффициент фильтрации основного водонасыщенного горизонта, м/сут.	> 100	100—5	5—0,5	< 0,05
Удельный приток на 1 м^2 , л/ч	> 4	4—0,4	0,4—0,05	< 0,05

К основным гидрогеологическим показателям водоносных горизонтов относятся влагоемкость, водоотдача, водопроницаемость и природные запасы. Влагоемкость по отношению к видам воды, которая может быть заключена в горной породе, разделяется на гигроскопическую, молекулярную, капиллярную и полную. Максимальная гигроскопичность для песков в среднем составляет около 1 %, для лессов, илов 5—10 %, глин 15—20 %. Молекулярная влагоемкость колеблется от 1,5 % для песков до 40 % (для глин), а капиллярная для тех же пород составляет 2—3 и 8—50 %. Полная влагоемкость, равная в пределе открытой пористости пород, варьирует от 0,5 до 60 %.

Влагоемкость, обусловленная физически связанной и капиллярной водой, снижает общую эффективность работы горного предприятия, так как она вызывает большие энергетические затраты, связанные с транспортировкой переувлажненных пород, полезного ископаемого и последующим удалением воды при сжигании углей, плавке руд и др. Эта влагоемкость снижает производительность рабочих механизмов и машин в шахтах и карьерах из-за ухудшения физико-механических свойств горных пород — увеличения липкости, набухания, просадок и др. Полная влагоемкость предопределяет запасы подземных вод и режим водопоступления в горные выработки. Водоотдача обусловлена объемом водонасыщенной породы, ее минеральным составом, временем стока воды, степени ее минерализации и др. Для крупнозернистых песков она в среднем составляет 35—25 %, тонкозернистых — 15—10 %, а для песчаников, углей и трещиноватых известняков — 5—10 %.

Водопроницаемость характеризуется коэффициентом фильтрации и зависит от зернового и минерального состава породы, общей и открытой пористости, степени минерализации воды, ее состава и температуры. В зависимости от значения коэффициента фильтрации различают породы водоупорные ($< 0,1$ м/сут — глины, монолитные изверженные породы, глинистые песчаники), слабопроницаемые (0,1—10 м/сут — лессы, суглинки, аргиллиты, алевролиты, супеси, бурые угли), среднепроницаемые (10—500 м/сут — пористые известняки, песчаники) и легкопроницаемые (> 1000 м/сут — крупные пески, галечник, трещиноватые скальные породы). Водопитоки прямо пропорциональны водопроницаемости, что свидетельствует о важно-

сти этого показателя. Запасы водоносных горизонтов определяют характер режима водопоступления в горные выработки.

Обводненность месторождения полезных ископаемых в пределах шахтного (карьерного) поля количественно определяется статическими, динамическими и упругими запасами (ресурсами) подземных вод в водоносных горизонтах (зонах, комплексах).

Статические запасы равны объемам воды в водоносных горизонтах (зонах) и старых затопленных выработках. Они зависят от суммарной мощности водоносных горизонтов (зон, комплексов), площади их распространения в зоне влияния горных выработок и коэффициента водоотдачи.

Наибольшие статические запасы содержат закарстованные породы, меньшие — горизонты рыхлых несвязных пород (пески, галечники) и наименьшие — скальные (твердые) породы. При вскрытии месторождений большие статические запасы дают значительный водоприток, величина которого затем снижается.

Динамические запасы (ресурсы) подземных вод соответствуют расходу воды, протекающей через поперечное сечение водоносного горизонта (зоны, комплекса) в единицу времени. Они зависят от водопроницаемости горных пород водоносных горизонтов, условий их питания (из атмосферы, поверхностных водоемов, других водоносных горизонтов) и расположения мест дренирования. Важное значение имеют интенсивность и продолжительность дренирования водоносных горизонтов, площади их обнажений в горных выработках. Для оценки динамических запасов необходимо знать мощность водоносных горизонтов, их поперечное сечение, действующие градиенты и показатели водопроницаемости, водоотдачи и уровнепроводности горных пород, радиусы влияния горных выработок.

Состав и свойства подземных вод месторождений. Химический состав и свойства подземных вод определяются количеством и соотношением ионов, наличием недиссоциированных соединений, кислотностью — щелочностью (рН), жесткостью, общей минерализацией, количеством и составом растворенных и нерастворенных в воде газов.

По степени минерализации воды разделяются на пресные (с содержанием растворенных веществ до 0,1 %), соленые (до 5 %) и рассолы (более 5 %), по температуре — на холодные (ниже

20 °С), теплые (20—37 °С), горячие (37—42 °С) и очень горячие (выше 42 °С), а по химическому составу на классы: гидрокарбонатные, сульфатные, хлоридные и сложного состава. Кроме того, различают воды с биологически активными ионами и газовые.

Состав подземных вод месторождений полезных ископаемых формируется под влиянием физико-географических условий, геологического строения месторождений, глубины залегания водоносных горизонтов (зон, комплексов), режима подземных вод, а также минерального состава горных пород и геохимической обстановки.

По степени влияния на состав подземных вод выделяются следующие типы месторождений: 1) не содержащие характерных легкорастворимых элементов; воды имеют состав, свойственный общей геологической обстановке; 2) сложенные легко-растворимыми солями, образующими минерализованные воды (воды соляных месторождений); 3) содержащие минералы, которые в зоне выветривания преобразуются в легкорастворимые соли, придающие водам специфический состав (кислые воды зоны окисления сульфидных и угольных месторождений); 4) характеризующиеся восстановительной обстановкой на глубоких горизонтах и образованием высокоминерализованных подземных вод.

Вблизи рудных и угольных месторождений нередко формируются так называемые агрессивные воды (в т. ч. и кислые воды зон окисления), которые разрушают сооружения из бетона и металла, неблагоприятно влияют на растительный и животный мир водоемов. Кроме того, состав вод активно изменяется под воздействием человека в результате механического, химического, радиоактивного и биологического загрязнения.

Режим подземных вод — это совокупность изменений во времени напора, уровня, температуры, химического и газового состава, дебита различных водозаборов, притоков воды в горные выработки под влиянием естественных и искусственных факторов.

Как уже отмечалось, общая обводненность месторождения определяется статическими и динамическими запасами подземных вод в водоносных горизонтах, зонах и комплексах. Эти запасы формируются под воздействием природных условий. На месторождениях, не нарушенных горными работами, все пока-

затели водоносных горизонтов, зон и комплексов характеризуют естественные гидрогеологические условия.

Вместе с тем и в природных условиях происходят изменения ряда гидрогеологических показателей. Уровни подземных вод колеблются под влиянием вертикального перемещения воды (в зоне аэрации и областях питания грунтовых и артезианских вод), при подпоре подземных водоносных горизонтов, прилегающих к поверхностным водотокам и водоемам, путем передачи гидростатического напора.

Для грунтовых вод выделяют два типа режима: водораздельный и прибрежный. Первый определяется неравномерностью инфильтрации атмосферных осадков, второй — режимом поверхностных вод. Амплитуда годового колебания уровня грунтовых вод изменяется от 1 до 3 м. Для трещиноватых пород эта величина достигает 10 м. Межпластовые и артезианские воды в глубоких зонах отличаются незначительными (менее 1 м) изменениями уровня.

Режим подземных вод резко изменяется при освоении месторождений. Он может быть стационарным, если суммарный объем отводимых от выработок вод равен их притоку, и нестационарным, если этот баланс будет отрицательным или положительным.

Инженерно-геологические условия месторождений полезных ископаемых характеризуются разрабатываемостью горных пород, их устойчивостью в массиве, проявлениями горного давления при разработке и физико-химическими процессами, протекающими в массиве и горной массе.

Инженерно-геологические условия месторождений зависят от физико-географической обстановки района, состава и строения горных пород и массива, их физико-механических и гидрогеологических факторов, характера и проявления современных геологических процессов, горнотехнических воздействий на массив.

Физическое состояние и свойства горных пород зависят от их строения. По типу и силе связи между минералами выделяются раздельно-зернистые, связные (глинистые) и твердые (скальные) породы. С физическим состоянием и свойствами пород связаны конструкции горных выработок, их устойчивость в процессе проведения и эксплуатации, развитие горно-геологических явлений.

Физико-механические свойства горных пород определяют их сопротивляемость разрушению и деформациям. Различают прочностные и деформационные свойства горных пород. Твердые породы по прочностным показателям близки к твердым телам. Механические свойства глинистых пород зависят от степени их литофицированности, минерального и зернового состава. Раздельно-зернистые породы ведут себя как сыпучие тела.

Физико-химические свойства горных пород включают их растворимость, окисление, коррозионные и адсорбционные свойства, набухаемость, водопрочность и др.

Растворение горных пород связано с воздействием воды, углекислоты, минеральных и органических кислот. Наиболее подвержены этому процессу карбонатные и галоидные породы. Окисление горных пород развито в приповерхностных частях среди пород, богатых органикой и химическими элементами, легко соединяющимися с кислородом. Самовозгорание твердых горючих ископаемых и сульфидных руд представляет собой частный случай процесса окисления.

Самовозгораемость руд влияет на выбор систем разработки, предъявляет особые требования к условиям складирования и транспортировки горной массы.

Адсорбционная способность дисперсных горных пород обусловлена свойствами породы, ее дисперсностью, составом, характером взаимодействия с фильтрующим раствором.

Водопрочность дисперсных горных пород характеризуется размокаемостью, зависящей от состава пород, их структурных особенностей, влажностью и др.

Инженерно-геологические условия месторождения зависят преимущественно от особенностей состава, строения и состояния горных пород основного горно-геологического яруса массива и глубины его залегания. Важным показателем является степень трещиноватости массивов горных пород. Тектонические трещины формируются в результате напряжений, проявляющихся при складчатых или разрывных нарушениях. Количественная оценка трещиноватости заключается в установлении ее типов и систем, замера элементов залегания, протяженности и раскрытия трещин, расстояний между ними в системах, определения удельной трещиноватости. Важным фактором инженерно-геологических условий массивов является газоносность горных пород. Газоносность месторождений в большой

степени определяется содержанием метана и углекислого газа. Наиболее газоносными являются угольные месторождения, где распределение газов зависит от состава углей и угленасыщенности стратиграфического разреза. Особые требования к условиям безопасности предъявляются к шахтам, опасным по газу.

Среди современных геологических процессов, влияющих на инженерно-геологические факторы разработки месторождений, выделяются экзогенные — оползни, сели, обвалы, эрозия; эндогенные — сейсмические процессы, неотектонические движения земной коры и геотермические явления.

Поскольку эти процессы относятся к категории неуправляемых, особо важным является их прогнозирование, создание надежных в данной геодинамической обстановке инженерных конструкций, технологических схем и методов разработки полезных ископаемых.

В горном деле используется классификация пород по степени их разрабатываемости. По классификации, предложенной М.М. Протодяконовым, в основу положен коэффициент крепости пород при их разработке. Существуют и другие классификации пород, основанные на звукопроводимости, газопроводимости, на различных фильтрационных свойствах и др.

Контрольные вопросы и задания

1. Что называется полезным ископаемым, рудой?
2. Как разделяются полезные ископаемые по физическому состоянию и промышленному использованию?
3. Дайте определение следующих понятий: провинция, пояс, бассейн, район (узел), поле, месторождение, тело полезных ископаемых. Приведите примеры.
4. Дайте определение понятия «промышленные кондиции».
5. Объясните, почему понятие «месторождение полезного ископаемого» является геолого-экономическим.
6. Дайте характеристику основных морфологических типов тел полезных ископаемых.
7. Какие геологические элементы определяют форму, размеры и условия залегания изометричных, плоских и трубообразных тел полезных ископаемых?
8. Какие тела (месторождения) полезных ископаемых называются сингенетическими и эпигенетическими, согласными и секущими?
9. Какие существуют типы выклинивания и контактов тел полезных ископаемых?
10. Назовите основные виды тектонических нарушений первичного залегания тел полезных ископаемых.

11. Какие свойства полезного ископаемого обуславливают его соответствие назначению, сохраняемость, технологичность?
12. Какие характеристики определяют вещественный состав металлических и неметаллических руд, ископаемых углей, строительных горных пород?
13. Назовите главные промышленные минералы руд алюминия, вольфрама, железа, марганца, меди, никеля, серы, фосфора.
14. Что такое типы и сорта полезных ископаемых?
15. Что называется текстурой и структурой полезных ископаемых?
16. Дайте характеристику основных видов текстур и структур полезных ископаемых.
17. Какими показателями характеризуется качество металлических руд, горнорудного сырья, строительных материалов?
18. Как характеризуется распределение полезных и вредных компонентов в объеме месторождения полезных ископаемых?
19. Перечислите количественные показатели обводненности месторождений.
20. Какими показателями характеризуются состав и свойства подземных вод месторождений?
21. Что такое режим подземных вод? Под воздействием каких причин происходит нарушение его стационарности?
22. Перечислите основные физико-механические и физико-химические свойства горных пород.
23. Что положено в основу классификации пород по степени их разрабатываемости?

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

2.1. УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Изучение геологических условий образования месторождений полезных ископаемых включает в себя вопросы, касающиеся их генетической систематики, связи с определенными геологическими структурами и комплексами горных пород, источников и способов отложения полезных минеральных масс, а также физико-химических параметров процессов рудообразования.

Генетическая классификация месторождений

Классификация любых объектов заключается, как известно, в объединении их в группы, близкие по определенным признакам, которые являются принципами классификации. Следовательно, выделение групп месторождений, сходных по условиям формирования, основано на генетическом принципе. Генетическая систематика месторождений имеет важное научное и практическое значение, поскольку именно условия образования месторождений определяют закономерности их размещения в земной коре, основные пространственно-морфологические и объемно-качественные характеристики.

Существует достаточно большое число вариантов классификаций месторождений по их генезису; это, например, классификации В.А. Обручева (1922 г.), Е.Е. Захарова (1953 г.), С.С. Смирнова (1955 г.), С.А. Вахромеева (1975 г.), В.И. Смирнова (1976, 1985 гг.), многие из которых приводятся в соответствующих учебниках и учебных пособиях.

При составлении предлагаемого варианта генетической классификации месторождений полезных ископаемых авторы исхо-

дили из следующих основных посылок. Во-первых, поскольку процессы становления месторождений полезных ископаемых не являются самостоятельными, изолированными, а скорее представляют собой отдельные «эпизоды» на фоне общегеологического развития нашей планеты, классификация должна четко увязывать их с более общими пороодообразующими геологическими процессами. Как отмечено В.И. Смирновым (1982 г., с. 56), «месторождения полезных ископаемых формируются в процессе дифференциации минеральных масс при круговороте в осадочном, магматическом и метаморфическом циклах образования горных пород и геологических структур». Во-вторых, во всей классификации желательное сохранение единого принципа: она должна быть генетической на уровне выделения всех ее основных единиц. В-третьих, в классификации должны существовать переходные группы, включающие месторождения сложного генезиса, возникшие в результате взаимодействия двух или нескольких геологических процессов. В-четвертых, отражая в целом уровень современных знаний о генезисе месторождений, классификация должна быть достаточно простой.

В предлагаемой классификации (табл. 2.1) авторами вслед за рядом других исследователей рассматриваются следующие соподчиненные единицы (таксоны): серии, группы, классы и подклассы месторождений полезных ископаемых.

Таблица 2.1

Генетическая классификация месторождений полезных ископаемых

Серия	Группа	Класс	Подкласс
Эндо-генная	Магматогенная	Магматический	Раннемагматический Позднемагматический Ликвационный
		Пегматитовый	Простых пегматитов Перекристаллизованных пегматитов Метасоматически замещенных пегматитов
		Гидротермальный	Плутоногенный (глубинный) Вулканогенный (приповерхностный)
	Магматогенно-метаморфогенная	Контактово-метасоматический	Альбититовый Грейзеновый Скарновый (известково- и магнезиально-скарновый)

Серия	Группа	Класс	Подкласс
Эндогенно-экзогенная	Метаморфогенная	Метаморфизованный Метаморфический	Регионально-метаморфизованный Контактово-метаморфизованный Регионально-метаморфический Контактово-метаморфический
	Магматогенно-седиментогенная	Вулканогенно-осадочный Гидротермально-осадочный	Не выделены -."
Экзогенная	Седиментогенная	Выветривания Осадочный	Остаточный Инфильтрационный Механический Химический Биохимический

Наиболее крупными единицами классификации являются серии — эндогенная, эндогенно-экзогенная и экзогенная, выделенные по принципу источников энергии, за счет которой совершаются геологические процессы, приводящие к формированию месторождений полезных ископаемых.

Объединение месторождений в группы связано с тремя основными процессами петрогенеза, а следовательно, и рудообразования — магматизмом, метаморфизмом и седиментогенезом. При этом наряду с традиционно описываемыми магматогенными, метаморфогенными и седиментогенными месторождениями авторами дополнительно предложены переходные магматогенно-метаморфогенная группа в эндогенной серии и магматогенно-седиментогенная — в эндогенно-экзогенной.

Поскольку каждый из названных процессов очень сложен по характеру развития во времени и пространстве, формам и условиям проявления, физико-химическому механизму обособления и накопления минеральных масс, именно на этих генетических принципах основано выделение более дробных единиц классификации — классов и подклассов.

Так, магматогенные месторождения подразделяются на классы в соответствии с основными этапами эволюции и дифференциации магматических расплавов, в течение которых меняется и характер среды минералообразования. Подклассы связываются со временем и механизмом обособления полезных минеральных масс, глубиной формирования месторождений.

Метаморфогенные месторождения классифицируются согласно основным типам метаморфизма. Для седиментогенных классификация базируется на основных этапах седиментогенеза (в широком смысле этого слова) — мобилизации вещества в коре выветривания и последующем осадонакоплении, а также на физико-химическом механизме протекания этих процессов.

В следующих разделах более детально будут рассмотрены месторождения полезных ископаемых и условия их образования в пределах отдельных классов и подклассов.

При этом более удобное подразделение месторождений будет проведено по их минеральному составу. Поэтому выделенные типы месторождений по существу являются не чисто генетическими, а промышленно-генетическими подразделениями.

Связь месторождений с основными структурными элементами земной коры

Месторождения полезных ископаемых пространственно и генетически связаны с определенными участками земной коры, или ее основными структурными элементами, от истории геологического развития которых зависят в конечном итоге как характерные для каждого из них типы месторождений, так и условия их формирования. В связи с этим могут быть выделены месторождения: 1) геосинклинальных областей; 2) платформенных областей; 3) дна морей и океанов.

Месторождения геосинклинальных областей

Геосинклинальные области представляют собой наиболее подвижные в тектоническом отношении участки земной коры. На всем протяжении развития этих мобильных областей при их постепенном превращении в относительно стабильные складчатые сооружения образуются эндогенные и экзогенные месторождения многих полезных ископаемых. Однако условия формирования месторождений существенно различаются на разных стадиях эволюции геосинклиналей. В их геологической истории выделяют две основные стадии: раннюю (ортогеосинклинальную) и позднюю (орогенную).

Ранняя стадия развития геосинклиналей охватывает наиболее длительный отрезок времени — от ее заложения до основных фаз складчатости. Геологические процессы, в т. ч. и рудообразующие, происходят в это время в обстановке преобла-

дающего растяжения земной коры, приводящего к нарушению ее сплошности, а также в условиях общего прогибания территории, мощного осадконакопления, интенсивного проявления подводного базальтового вулканизма. В прогибах накапливаются мощные толщи вулканогенных и осадочных пород, а по крупным разломам внедряются магмы основного и ультраосновного состава, слагающие интрузивные тела.

Ко всем комплексам пород ранней стадии геосинклинального развития — осадочным, эффузивным и интрузивным — приурочены определенные группы полезных ископаемых, причем в формировании рудных скоплений основное значение имеют мантийные источники вещества.

С осадочными комплексами связаны месторождения обломочных и глинистых пород, карбонатных пород с пластовыми залежами железных и марганцевых руд, бокситов, фосфоритов и др. В субмаринных условиях образуются мощные вулканогенные толщи базальт-липаритового состава, с которыми ассоциируют вулканогенно- и гидротермально-осадочные месторождения меди, цинка, свинца, а также окисдных руд железа и марганца.

Ультраосновные и основные интрузивы продуцируют месторождения хромитов, титаномагнетитов, металлов платиновой группы.

Поздняя (орогенная) стадия соответствует проявлению главных фаз складчатости и постепенному превращению мобильной геосинклинальной области в молодое горно-складчатое сооружение. Она характеризуется сменой знака тектонических движений и общим воздыманием территории, которое начинается в центральных ее частях и постепенно разрастается к периферии. Интенсивно проявляются процессы метаморфизма.

Главным фазам складчатости свойственна мощная интрузивная деятельность, приводящая к образованию батолитовых тел гранитоидного состава. Для них типичны пегматитовые, альбититовые, грейзеновые месторождения олова, вольфрама, тантала, лития, бериллия. С умеренно кислыми гранитоидами ассоциируют скарновые месторождения вольфрама и геотермальные золота, меди, молибдена, реже свинца и цинка. С малыми интрузиями заключительных этапов развития геосинклиналей генетически связаны гидротермальные месторождения руд цветных, редких, радиоактивных и благородных металлов, а также скарновые месторождения комплексных руд (свинцово-цинковых, вольфрам-молибденовых).

С наземными эффузивами преимущественно андезит-дацитового состава ассоциируют гидротермальные вулканогенные месторождения золота, серебра, олова, ртути. Источники рудного вещества на этой стадии, по-видимому, имеют смешанный мантийно-коровый характер.

С процессами осадконакопления, которые в течение орогенной стадии развиваются в пределах прогибов, связано образование месторождений строительных материалов, каустобиолитов, минеральных солей. Большинство месторождений геосинклинальных областей отличается сложной морфологией тел полезных ископаемых, их сильной тектонической нарушенностью, что предъявляет особые требования к процессам их разработки.

Месторождения платформ

Платформы являются относительно устойчивыми в тектоническом отношении областями земной коры, характеризующимися двухъярусным строением с соответствующими каждому из ярусов комплексами месторождений полезных ископаемых.

Нижний структурный ярус, или фундамент платформ, сложен обычно складчатыми, сильно метаморфизованными формациями пород архейского, протерозойского или более молодого возраста. Верхний ярус — платформенный чехол — представлен относительно спокойно залегающими осадочными, реже вулканогенно-осадочными породами фанерозоя.

Для гранито-гнейсового основания и древнейших гранито-гнейсовых ядер нижнего яруса наиболее типичны месторождения слюдяных и редкометальных пегматитов. К метаморфическим образованиям этого же структурного яруса относятся крупнейшие месторождения железистых кварцитов.

Многие месторождения платформ образованы в связи с проявлениями магматизма. С трапповым магматизмом связано формирование месторождений сульфидных медно-никелевых руд, исландского шпата. В случаях, когда траппы контактируют с пластами углей, возникают месторождения графита. Очень характерны для платформ месторождения алмазоносных кимберлитов. С ультраосновными — щелочными породами, часто слагающими многофазные кольцевые интрузии, ассоциируют месторождения флогопита, редких земель, алюминиевого сырья.

Месторождения платформенного чехла формируются в основном в ходе экзогенных геологических процессов. Среди них следует назвать месторождения бокситов, железных и марганцевых руд, фосфоритов, калийных и каменных солей, углей, огнеупорных глин и различных строительных материалов. В образовании экзогенных месторождений значительную роль играют процессы, обусловленные жизнедеятельностью различных организмов.

Месторождения дна морей и океанов

Мировой океан занимает 70,8 % поверхности нашей планеты и является областью с особым океаническим типом строения земной коры. Безусловно, он представляет собой область образования многих месторождений полезных ископаемых. Однако наши знания о них пока очень ограничены.

К особому типу рудных месторождений здесь принадлежат железомарганцевые конкреции, приуроченные к глубинным зонам большинства океанов и заключающие в себе грандиозные по масштабам запасы полезных компонентов. Конкрекции — полиметалльные образования, содержащие железо, марганец, кобальт, никель, ванадий. Наибольшие запасы таких конкреций обнаружены вдоль западного побережья США на глубинах 1500—3000 м, где они покрывают площадь около 5 млн км². В ряде стран предпринимаются попытки наладить промышленную разработку этих богатейших руд.

Другой сравнительно недавно обнаруженный тип рудных проявлений — установленные в глубоководных частях океанов металлоносные горячие рассолы и полиметаллические рудные жилы, приуроченные обычно к зонам крупных разломов. В их локализации большое значение имеют рифовые структуры.

Наконец, общеизвестно содержание в морской воде большого числа полезных металлических и неметаллических компонентов, суммарные запасы которых во много раз превышают таковые во всех известных месторождениях континентов. Однако из-за низкого содержания химических элементов и отсутствия дешевой технологии массового извлечения их из вод морей и океанов пока не проводится, хотя попытки освоения этих ресурсов уже предпринимаются во многих странах.

Геологические и физико-химические факторы, определяющие условия образования и размещения месторождений

Все характеристики месторождений (форма, условия залегания, размеры, вещественный состав) определяются историей и процессами геологического развития тех участков земной коры, которые вмещают месторождения. Поэтому месторождения полезных ископаемых необходимо изучать во взаимосвязи с окружающей их геологической средой, применяя анализ условий, геологических факторов, благоприятствующих образованию полезных ископаемых. Для формирования различных генетических групп месторождений ведущими факторами являются магматические, стратиграфические, литологические и тектонические.

Магматические факторы. Различные эндогенные месторождения полезных ископаемых связаны с определенными по составу комплексами изверженных горных пород.

С ультраосновными породами (дунитами, перидотитами, пироксенитами) ассоциируют магматические месторождения металлов платиновой группы, хромитов, никель-кобальтовых руд, титаномагнетита, алмазов. Кроме того, к этим породам приурочены гидротермальные месторождения асбеста, магнезита, талька.

Основные породы (габбро, нориты, анортозиты) продуцируют магматические месторождения титаномагнетитовых и сульфидных медно-никелевых руд. Для щелочных пород (нефелиновые сиениты) характерны магматические месторождения апатита и нефелина.

Граниты являются материнскими породами для пегматитовых месторождений мусковита, драгоценных камней и редких элементов. К умеренно кислым гранитоидам тяготеют контактово-метасоматические (скарновые) месторождения железа, вольфрама, молибдена, а также гидротермальные месторождения золотых, медных, оловянных, полиметаллических и урановых руд.

Связь месторождений полезных ископаемых с изверженными породами бывает генетическая (прямая, явная) и парагенетическая. В первом случае магматические, пегматитовые и скарновые месторождения непосредственно ассоциируют с конкретными массивами изверженных пород, а рудные тела зале-

гают, как правило в их пределах. Парагенетическая связь отмечается для многих гидротермальных месторождений, рудные тела которых могут не иметь прямой связи с интрузивами, но те и другие являются производными единых глубинных магматических очагов.

Литологические факторы обнаруживаются в приуроченности постмагматических месторождений к горным породам, которые характеризуются специфическим составом, физико-химическими и физико-механическими свойствами. В этом случае свойства и состав горных пород выступают как факторы, способствующие развитию оруденения.

Известны гидротермальные месторождения, которые формируются при замещении рудным веществом карбонатных пород. Крупные месторождения медных, свинцово-цинковых, сурьмяно-ртутных и других руд часто локализируются в породах с повышенной пористостью и трещиноватостью, в горизонтах, сложенных хрупкими горными породами.

Стратиграфические факторы обуславливают приуроченность экзогенных месторождений к определенным стратиграфическим частям геологического разреза. Месторождения и вмещающие их породы образуются в результате одних и тех же процессов и входят в состав конкретных геологических формаций.

Осадконакопление, связанное с тектоническими движениями земной коры, происходило ритмично. В период затухания горообразования при трансгрессии моря формировались рудные месторождения железа, марганца, бокситов. В силу этого подобные месторождения залегают в низах трансгрессивных серий определенного возраста. В период поднятий и регрессии моря возникали месторождения каустобиолитов и минеральных солей. Поэтому они встречаются в верхних частях регрессивных серий осадков.

Для многих месторождений характерна связь с отложениями определенного возраста, которая хорошо выдерживается в пределах различных геологических структур. Такая связь наблюдается в пределах угленосных бассейнов, месторождений минеральных солей, фосфоритов, железных руд.

Тектонические факторы. Размещение месторождений полезных ископаемых, рудных полей и поясов контролируется, как правило, крупными тектоническими элементами. К ним относятся глубинные разломы, складчатые зоны, предгорные

прогибы, внутригорные котловины, платформенные антеклизы и синеклизы.

Особенно большое рудоконтролирующее значение имеют глубинные разломы. Эти зоны протягиваются на многие сотни километров при ширине до десятков километров. К глубинным разломам тяготеют эндогенные месторождения полезных ископаемых, реже — осадочные месторождения угля и минеральных солей. С зонами региональных надвигов, сбросов, сдвигов, смятия связаны месторождения цветных и редких металлов Рудного Алтая, Забайкалья, Кавказа.

По времени своего образования по отношению к формированию оруденения тектонические нарушения могут быть дорудными, внутрирудными и послерудными. Наибольшее значение в локализации оруденения имеют нарушения первых двух групп. Послерудные же нарушения часто значительно усложняют форму тел полезных ископаемых, что необходимо учитывать при разработке месторождений.

Многочисленные месторождения металлических и неметаллических полезных ископаемых и каустобиолитов (медь, соли, уголь и др.) часто приурочены к предгорным прогибам, располагающимся на границе платформ и складчатых областей.

Глубина образования. Месторождения полезных ископаемых формируются на различных глубинах, под которыми понимают расстояние от земной поверхности, соответствующей времени рудообразования, до места локализации полезных минеральных масс. Можно выделить четыре основных глубинных зоны формирования полезных ископаемых: 1) поверхностно-приповерхностную; 2) малых глубин (гипабиссальная); 3) средних глубин (абиссальная); 4) больших глубин (ультраабиссальная).

Поверхностно-приповерхностная зона простирается от поверхности земли до глубины 1—1,5 км. Здесь происходит становление всех месторождений экзогенного генезиса, а также вулканогенно- и гидротермально-осадочных месторождений. Иногда в приповерхностных условиях образуются отдельные магматические и скарновые месторождения.

Зона малых глубин (гипабиссальная) охватывает интервал от 1—1,5 до 4 км. Это наиболее благоприятная для возникновения эндогенных месторождений зона, характеризующаяся оптимальными физико-механическими свойствами среды, поскольку в породах широко развиты разрывные нарушения, бла-

гоприятствующие перемещению рудообразующих растворов или расплавов. С этой зоной связано формирование подавляющего большинства плутоногенных гидротермальных месторождений, скарновых месторождений железа и меди, а также магматических месторождений сульфидных медно-никелевых руд и карбонатитов.

Зона средних глубин (абиссальная) распространяется примерно от 4 до 10 км. Низкая пористость и пластичность пород, отсутствие открытых трещин затрудняют просачивание растворов, в связи с чем в этой зоне преобладает инфильтрационно-диффузионный массоперенос и широко распространены метасоматические процессы. Здесь формируются преимущественно пегматитовые и контактово-метасоматические месторождения.

Зона больших глубин (ультраабиссальная) наименее благоприятна для рудообразования, поскольку при высоком всестороннем давлении трещины полностью закрыты, породы обладают высокой пластичностью и слабопроницаемы для растворов. К этой зоне в основном приурочено становление метаморфогенных месторождений.

Возникшие в различных условиях глубинности месторождения могут быть неодинаково эродированы. Глубина эрозионного среза определяется положением тел полезных ископаемых относительно современной земной поверхности. Можно выделить три степени эродированности месторождений: начальную, когда рудные тела только вскрываются эрозией и месторождение перспективно на глубину; полную, когда на поверхности обнажаются корневые части рудных тел и перспективы месторождения уже ограничены, и среднюю — промежуточную. Обычно глубина эрозионного среза определяется при геологоразведочных работах с использованием различных геохимических и минералогических методов.

Температура и давление. Месторождения полезных ископаемых формируются в локальных участках земной коры — рудообразующих системах, важнейшими термодинамическими параметрами которых являются температура и давление. Температурный интервал становления различных месторождений достаточно широк — от 0—50 °C для экзогенных и до 800—900 °C и даже 1200—1300 °C для эндогенных. Определение температур рудного процесса за редким исключением проводится косвенными методами, среди которых могут быть названы термометрические (по газово-жидким включениям в минера-

лах), минералогические (с помощью минеральных термометров, основанных на фазовых переходах в различных минералах) и геохимические (базирующиеся на зависимости коэффициента распределения элементов в сосуществующих минералах от температуры их формирования).

Давление при процессах рудообразования обычно колеблется от сотни до нескольких сотен мегапаскалей, достигая в редких случаях, например, для месторождений алмазов в кимберлитах, 5—7 ГПа. Надежных экспериментальных методов его определения в настоящее время нет, хотя делаются попытки количественной оценки давления в рудообразующих системах по замерам давлений во включениях в минералах.

Помимо температуры и давления, важными физико-химическими параметрами рудообразующих систем являются кислотность — щелочность среды (рН), окислительно-восстановительный потенциал (Еh), режим углекислоты, серы, химическая активность ионов.

Источники вещества и способы его отложения. Источники вещества, из которого формируются полезные минеральные массы месторождений, достаточно разнообразны. Основными из них считаются следующие: 1) магматические расплавы корового или мантийного происхождения; 2) газовые, газовой-жидкие и жидкие растворы, которые могут отделяться от магмы на определенных стадиях ее эволюции или возникать вне связи с магматическими расплавами; среди растворов немагматического генезиса следует назвать образующиеся при дегазации из глубоких частей земной коры и верхней мантии («трансмагматические растворы» по Д.С. Коржинскому), а также минерализованные поверхностные и подземные воды; 3) горные породы различного происхождения, подвергающиеся механическому и химическому воздействию в экзогенных или эндогенных условиях и составляющие ту геологическую среду, в которой осуществляется перемещение расплавов и растворов, активно взаимодействующих с ней и заимствующих при этом многие ценные компоненты; 4) продукты жизнедеятельности различных животных и растительных организмов; 5) вещество космического происхождения.

Отложение вещества полезных ископаемых из минералообразующих сред также имеет различный характер. Исходя из названных источников, можно говорить об отложении вещества

из расплавов, растворов или его перегруппировке в твердом состоянии.

Отложение вещества из расплавов, осуществляющееся при образовании магматических и пегматитовых месторождений, носит характер кристаллизации, происходящей при прогрессивном снижении температуры.

Наиболее распространенным способом является выделение вещества из водных и газовой-водных природных растворов. Этот процесс обычно регулируется изменением температуры, давления, концентрации и другими физико-химическими условиями среды. Поскольку вещество в растворах может находиться в ионно-молекулярной форме (в истинных растворах), в виде коллоидных частиц (в коллоидных растворах) или взвесей, способы его отложения различны. Среди них следует назвать: 1) механическое осаждение; 2) самопроизвольную коагуляцию коллоидных растворов; 3) химическое осаждение, являющееся результатом различных химических реакций, а также испарения и пересыщения растворов; 4) биохимическое осаждение в результате жизнедеятельности и отмирания животных и растительных организмов. Из газовых растворов вещество может накапливаться путем сублимации или возгонки. В результате указанных способов выделения вещества образуются залежи полезных ископаемых.

Особо необходимо отметить способ отложения вещества при обменных химических реакциях растворов с боковыми породами (процесс метасоматоза), наиболее широко распространенный при формировании контактово-метасоматических месторождений. Массоперенос здесь имеет фильтрационно-диффузионный характер, а возникающие залежи полезных ископаемых являются телами замещения.

Перегруппировка вещества в твердом состоянии, происходящая при изменении температуры и давления, при фильтрации химически активных растворов — основной способ образования полезных минеральных масс в месторождениях метаморфогенного генезиса. Массоперенос при этом обладает диффузионным или фильтрационно-диффузионным характером.

Все вышеизложенное указывает на чрезвычайную сложность формирования месторождений полезных ископаемых, большое разнообразие геологических и физико-химических условий, определяющих процессы рудогенеза.

2.2. МАГМАТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Условия образования

Магматические месторождения формируются в процессе дифференциации и кристаллизации рудоносной магмы ультраосновного, основного или щелочного состава при высокой температуре (1500—700 °С), высоком давлении и на значительных глубинах (3-5 км и более). Основным источником рудообразующих элементов магматических месторождений является, видимо, вещество верхней мантии Земли. Об этом свидетельствует постоянная пространственная приуроченность как месторождений, так и вмещающих их пород к глубинным разломам.

В ходе становления интрузивных массивов происходила дифференциация вещества двух типов: ликвационная и кристаллизационная. В первом случае магматический расплав разделялся на рудную и силикатную части до кристаллизации, во втором — в процессе кристаллизации. В обоих случаях из-за разной плотности жидких и твердых фаз расплава осуществлялась их гравитационная дифференциация.

В соответствии с основными направлениями дифференциации рудоносных магматических расплавов выделяют три класса собственно магматических месторождений: ликвационные, раннемагматические кристаллизационные и позднемагматические кристаллизационные.

Ликвационные месторождения формируются в результате ликвации, т.е. разделения магмы рудно-силикатного состава при охлаждении на две несмешивающиеся жидкости — рудную (сульфидную) и силикатную — и их последующей обособленной кристаллизации. Главными геохимическими факторами ликвации магмы являются следующие: концентрация серы; общий состав магмы, особенно содержание в ней железа, магния и кремния; содержание меди, никеля и других халькофильных элементов в силикатной фазе. Причиной ликвации магмы может быть ассимиляция ею боковых пород, нарушающая химическое равновесие.

В начале ликвации сульфидная жидкость принимает форму мелких каплевидных шариков, рассеянных в силикатной массе. Шарiki сливаются в полосы, гнезда, часть из которых, благодаря высокой плотности, погружается в придонные части маг-

матической камеры. Так возникают висячие, донные и пластовые залежи. Основная часть сульфидного расплава кристаллизуется после силикатного. Поэтому нередко рудные тела имеют эпигенетический характер, образуют секущие жилы и залежи сплошных руд среди материнских пород.

Раннемагматические месторождения формируются в результате более ранней или одновременной с силикатами кристаллизации рудных минералов, т.е. благодаря обособлению твердой фазы в магматическом расплаве. Первичная кристаллизация типична для некоторых рудных минералов, к числу которых относятся хромит, металлы платиновой группы, алмаз, редкоземельные (монацит) и редкометалльные (циркон) минералы. Выкристаллизовавшиеся рудные минералы благодаря высокой плотности опускаются в жидком силикатном расплаве на дно магматической камеры. Здесь они перемещаются под действием гравитации и конвекционных токов, образуя обогащенные участки (сегрегации). Эти участки по составу близки вмещающей породе, отличаются только повышенным содержанием рудных компонентов. Таким путем возникают рудные шпильки раннемагматических месторождений.

Позднемагматические месторождения формируются из остаточного рудного расплава, в котором концентрируется основная масса ценных компонентов. В месторождениях данного типа первыми кристаллизуются порообразующие силикатные минералы. Остаточный расплав под влиянием тектонических движений, внутренних напряжений и летучих компонентов заполняет в почти затвердевшей интрузии трещины, различные пустоты и промежутки между зернами силикатных минералов. При этом развивается сидеронитовая структура, когда рудный минерал как бы цементирует зерна силикатов.

К позднемагматическим в данной работе отнесены и карбонатитовые месторождения. Карбонатитами называют эндогенные скопления карбонатов, обособление которых завершает длительный процесс становления сложных массивов ультраосновных — щелочных пород.

Месторождения магматического происхождения залегают преимущественно в массивах дифференцированных изверженных пород. В геосинклинальных зонах формируются ранне- и позднемагматические месторождения хромитов и платиноидов, связанные с перидотитами, а также позднемагматические тита-

номагнетитовые месторождения, приуроченные к габбро-дунит-пироксенитовым породам. На платформах ликвидационные магматические месторождения приурочены к интрузиям основных и ультраосновных пород, алмазоносные кимберлиты принадлежат к образованиям ультраосновного типа; позднемагматические месторождения апатитовых, апатит-магнетитовых и редкоземельных руд ассоциируют со щелочными породами.

Типы месторождений

Раннемагматические месторождения. Для раннемагматических месторождений, образующихся в ранний период кристаллизации магмы, почти одновременно с вмещающими изверженными породами, характерны следующие особенности:

1) постепенные контакты между рудой и вмещающими породами (поэтому их оконтуривание проводится по данным опробования);

2) преимущественно неправильная форма рудных тел — гнезда, линзы, сложные плитообразные залежи, трубообразные тела;

3) преимущественно вкрапленные текстуры и кристаллически-зернистые структуры руд.

К этому классу принадлежат зоны вкрапленности и шширообразные скопления хромитов в перидотитовых и дунитовых расслоенных интрузивах (Ключевское месторождение на Урале, Бушвельд и Великая Дайка в Южной Африке). Раннемагматическими являются также титаномagnetитовые руды в габброидах и графитовые месторождения в щелочных породах (Ботогольское в Восточном Саяне, месторождения Канады, Испании, Австралии).

Однако главными промышленными раннемагматическими месторождениями следует считать коренные месторождения алмазов в кимберлитах. Они приурочены к активизированным зонам древних платформ — Сибирской (Саха-Якутия), Африканской (ЮАР, Танзания, Конго), Индийской (Голконда), Австралийской (шт. Новый Южный Уэльс), Северо-Американской (Канада, США).

Всего на земном шаре выявлено более 1600 кимберлитовых трубок, однако только часть их алмазоносны. Алмазоносные кимберлиты заполняют крутопадающие цилиндрические или овальные полости, слагая трубообразные тела. Размеры трубок

в поперечном сечении изменяются от нескольких метров до нескольких сотен метров; на глубину они прослеживаются до 1 км. Распределение алмазов внутри трубок достаточно равномерное, с глубиной их количество снижается вплоть до полного исчезновения. Среднее содержание алмазов в кимберлитах не превышает 0,5 кар (1 карат = 0,2 г) на 1 м³ породы. Среди кимберлитовых трубок известны очень крупные с запасами алмазов в десятки миллионов карат.

Позднемагматические месторождения. Всем позднемагматическим месторождениям присущи следующие общие черты:

- 1) преимущественно эпигенетический характер рудных тел, имеющих форму секущих жил, линз и труб;
- 2) сидеронитовые структуры, преобладание массивных руд над вкрапленными;
- 3) крупные размеры рудных тел, значительные масштабы месторождений достаточно богатых руд.

К позднемагматическим относятся следующие типы месторождений:

- 1) хромитовые в серпентинизированных дунитах и перидотитах — на Урале (Кемпирсайское, Алапаевское, Сарановское), в Закавказье (Шоржинское), в Швеции, Норвегии;
- 2) титаномагнетитовые в массивах габбро-перидотит-дуникового состава — на Урале (Кусинское, Качканарское, Гусевогорское), в Карелии (Пудожгорское), на Горном Алтае (Харловское), в Забайкалье (Чинейское), Норвегии (Телнесс), Швеции (Таберг), США, Канаде;
- 3) платиновые в дунитах, перидотитах и пироксенитах — на Урале (Нижне-Тагильское), в ЮАР (Бушвельд);
- 4) апатит-магнетитовые в щелочных породах — на Урале (Лебяжинское), в США (Адирондак), Мексике, Чили;
- 5) апатит-нефелиновые, связанные с массивами щелочных пород — на Кольском полуострове (Хибины), в Восточной Сибири (Горячегорское, Кия-Шалтырское).

Промышленное значение особенно высоко для хромита, титаномагнетита и апатита, почти вся мировая добыча которых обеспечивается за счет месторождений перечисленных типов позднемагматического генезиса.

Месторождения хромитов приурочены к массивам ультраосновных пород, в той или иной степени дифференцированных по составу и серпентинизированных.

Массивы имеют форму лакколитов, лополитов и силлов. Обычно их основание сложено серпентинизированными дуни-

тами, в которых и располагаются рудные тела, представленные жилами, линзами, трубками, гнездами и полосами массивных и вкрапленных руд. Текстуры руд полосчатые, пятнистые, нодулярные, брекчиевые и вкрапленные. Структуры мелко- и среднезернистые. Руды сложены хромшпинелидами, магнетитом, тальком, карбонатами, иногда оливином и пироксеном. Подавляющая часть хромитовых месторождений ассоциирует с гипербазитами ранней стадии геосинклинального развития.

Месторождения титаномагнетита чаще всего генетически связаны с габбро-пироксенит-дунизовыми массивами ранней стадии геосинклинального развития. Рудные тела, размещение которых контролируется элементами протоматматической тектоники и более поздними разрывными нарушениями (рис. 2.1), имеют форму жил, линз, гнезд, шпиров.

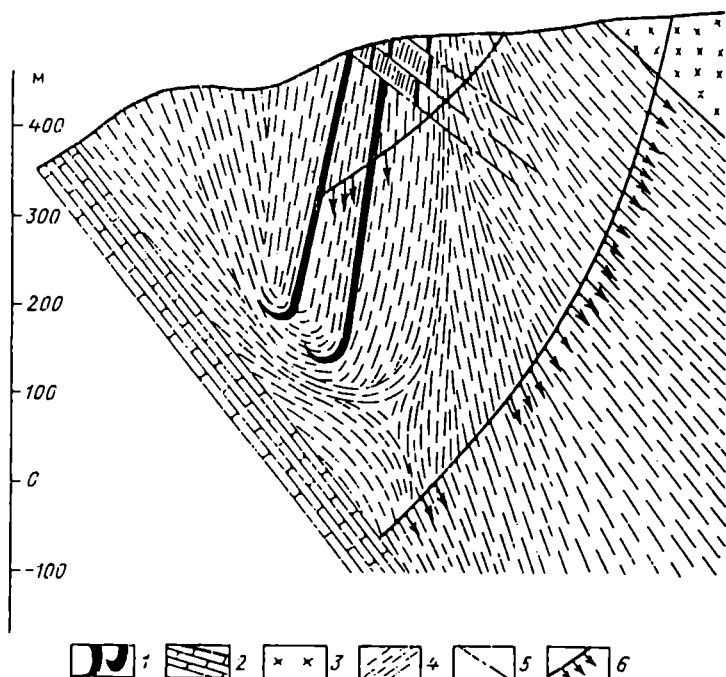


Рис. 2.1. Тектонический контроль размещения оруденения (разрез Кусинского месторождения титаномагнетита, по Д.С. Штейнбергу):

1 — сплошной титаномагнетит; 2 — карбонатные породы лежащего бока; 3 — гранито-гнейсы; 4 — габброамфиболиты; 5 — тектонические разрывные нарушения; 6 — скважины и направления структурных элементов по данным замеров в керне

Текстуры руд массивные, полосчатые, пятнистые, вкрапленные. Наиболее типичной структурой является сидеронитовая. Основные минералы руд — титаномагнетит, ильменит и рутил. Нерудные минералы представлены пироксеном, амфиболом, основными плагиоклазами, хлоритом, реже биотитом и гранатами.

Апатит-нефелиновые месторождения генетически связаны с массивами щелочных пород. Уникальными среди них считаются месторождения Хибинского щелочного массива на Кольском полуострове. Массив относится к платформенным образованиям и имеет форму лополита конического строения, залегающего среди древних гнейсов и сланцев. Он сформировался в результате последовательного внедрения хибинитов, нефелиновых сиенитов и пород ийолит-уртитового ряда. С последними генетически и пространственно связаны наиболее крупные залежи апатитовых руд, создающие в плане кольцо крупных линз.

Руды состоят из апатита, нефелина, магнетита, ильменита, сфена, пироксена, лопарита. Они являются комплексными, содержащими промышленные концентрации фосфора, алюминия, титана и редких элементов.

Особый тип позднемагматических образований составляют *карбонатитовые месторождения*. Большинство исследователей они выделяют в самостоятельную группу, однако их тесная пространственная и генетическая связь со сложными интрузивами ультраосновных — щелочных пород, обособление полезных минеральных масс на конечных стадиях развития данных интрузий позволяет включить их в описываемый класс месторождений.

Карбонатитовые месторождения сравнительно редки и содержат весьма специфический комплекс полезных компонентов, интерес к которым проявился относительно недавно. К настоящему времени обнаружено около 200 массивов карбонатитовых ультраосновных — щелочных пород. Из них только 20 служат объектами разработки. Подобные массивы выявлены в Карелии, на Кольском полуострове, в Восточной Сибири, Приморье. За рубежом они известны в США, Канаде, Бразилии, Германии, Швеции, Норвегии, Финляндии, Гренландии, Австралии, Индии, Афганистане, в ряде районов Африки.

Интрузивы имеют концентрически-зональное строение. Это могут быть штоки, лополиты, системы кольцевых и полуколь-

цевых даек, трещинные линейно-вытянутые массивы, тела сложной формы. В типичных случаях центральные части массивов сложены щелочными породами, которые окаймлены зоной ультраосновных пород, далее следует зона гнейсов, затем — зона метасоматически измененных пород (феинитов).

Залежи карбонатитов образуют штоки, конические дайки, падающие к центру массива, кольцевые дайки, падающие в противоположную сторону, радиальные дайки (рис. 2.2). Размеры рудных тел различные: поперечное сечение штоков от нескольких сотен метров до 10 км, длина даек по простиранию — от нескольких сотен метров до 1—2 км.

Карбонатиты на 80—90 % состоят из карбонатных минералов. В них присутствуют также апатит, флогопит, титаномagnetит и редкие минералы — бадделеит (ZrO_2), пирохлор (сложный оксид редких и редкоземельных элементов), перовскит (титанат редких земель), монацит (фосфат редких земель), а также карбонаты редких земель (паризит, бастнезит).

Карбонатиты имеют весьма важное промышленное значение. С ними связаны основные ресурсы тантала, ниобия, редких

земель, существенные запасы титана, железных руд, флюорита, флогопита, апатита и др. Главными типами промышленных месторождений являются следующие:

1) апатит-магнетитовые карбонатиты на Кольском полуострове (Ковдорское), в Африке, Канаде, Бразилии; запасы железной руды достигают сотен миллионов тонн при содержании железа от 20 до 70 %;

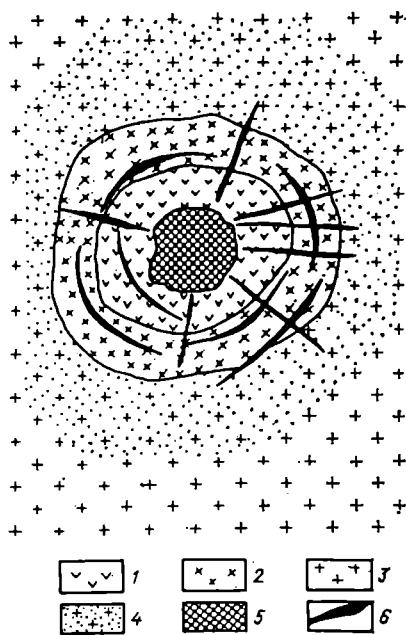


Рис. 2.2. Схема геологического строения карбонатитового месторождения:

1 — щелочные породы; 2 — ультраосновные породы; 3 — гнейсы; 4 — метасоматически измененные сланцы; 5—6 — карбонатиты; 5 — штоки, 6 — жилы (дайки)

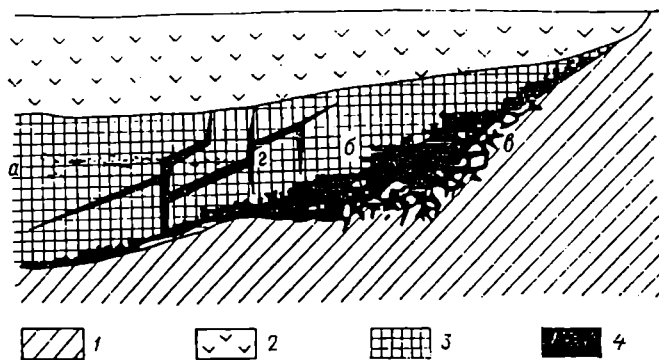


Рис. 2.3. Схема размещения рудных тел сульфидных медно-никелевых месторождений (по Г.Б. Роговеру):

1—2 — вмещающие породы: 1 — осадочные, 2 — эффузивные; 3 — интрузивные образования; 4 — руды: а — вкрапленные, б — донные залежи, в — приконтактовые брекчиевые, г — жилы

запасы апатита сопоставимы по масштабам при содержании P_2O_5 — 15 %;

2) флогопитовые карбонатиты, образованные на контакте железо-магнезиальных пород со щелочными и представленные крупными зонами спод, флогопитовыми жилами и прожилками, неравномерной вкрапленностью; качество споды невысокое, содержание ее от десятков и сотен килограммов в кубическом метре до сплошных сподяных масс (Ковдорское).

С карбонатитами связаны также месторождения редких металлов и редкоземельных элементов (США, Канада, Бразилия, Африка).

Ликвационные месторождения

К ликвационным относятся только пентландит-халькопирит-пирротиновые (сульфидные медно-никелевые) месторождения в основных и ультраосновных изверженных породах. Эти месторождения довольно редки, но имеют весьма важное промышленное значение. Они формировались лишь в пределах тектонически активизированных участков древних платформ, где пространственно и генетически связаны с дифференцированными интрузивными массивами габбродолеритов, норитов, пироксенитов и перидотитов.

Рудоносные массивы представлены лополитами, пластовыми и сложными залежами, а их размещение контролируется

глубинными разломами и синклинальными структурами осадочного чехла платформ. Протяженность интрузий измеряется километрами, а мощность — десятками метров. Вмещающими для интрузий являются осадочные и вулканогенно-осадочные породы. Интрузивы, несущие оруденение, как правило, расслоены, и более кислые породы сменяются более основными сверху вниз.

Месторождения приурочены преимущественно к нижним дифференциатам интрузий. По морфологии и условиям залегания выделяют четыре типа сульфидных руд: 1) пластовые висячие залежи вкрапленных руд в интрузии; 2) пластовые и линзообразные залежи массивных и прожилково-вкрапленных руд в интрузии и подстилающих породах; 3) линзы и неправильные тела приконтактовых брекчиевых руд; 4) жилы в интрузиях и вмещающих породах (рис. 2.3). Пространственное размещение руд различных типов контролируется составом изверженных пород, физико-механическими свойствами вмещающей толщи, развитием тектонических трещин.

Характерной особенностью всех медно-никелевых месторождений является сравнительно простой и выдержанный минеральный и химический состав руд. К главным минералам принадлежат пирротин, пентландит и халькопирит, реже магнетит и кубанит; второстепенные и редкие весьма многообразны — это минералы золота, серебра и металлов платиновой группы, меди (борнит, халькозин), никеля и кобальта (миллерит, никелин) и др. Кроме того, в рудах в тех или иных количествах присутствуют селен, теллур и др.

Руды имеют массивную, брекчиевую, порфировую, прожилково-вкрапленную и вкрапленную текстуры, средне-крупнозернистые структуры.

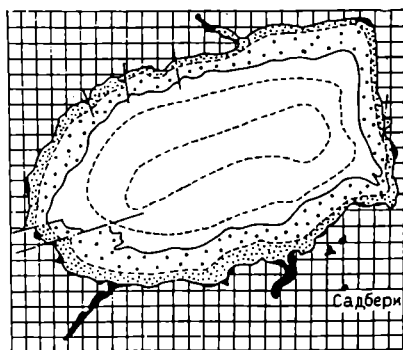


Рис. 2.4. Схема геологического строения лополита Садбери в Канаде (по П. Колеману):

1 — подстилающие породы; 2 — габбро; 3 — нориты; 4 — породы брекчии; 5 — сульфидные месторождения; 6 — разрывные тектонические нарушения

К рассматриваемому типу относятся месторождения Красноярского края (Норильск-1, Талнахское, Октябрьское) и Колыского полуострова (Печенегская группа), в Канаде — районов Садбери (лополит Садбери является крупнейшим зарубежным месторождением — рис. 2.4) и Томпсон, в Южной Африке — Бушвельда и Инсизвы, в Австралии — района Калгурли. Небольшие месторождения этого типа известны в Финляндии, Швеции, Норвегии, США.

Таким образом, важнейшая особенность всех магматических месторождений — их тесная связь с конкретными комплексами магматических пород, что в значительной мере определяет и их поисковые признаки.

2.3. Пегматитовые месторождения

Условия образования

Пегматитами называются своеобразные по минеральному составу, морфологии, структуре и генезису позднемагматические тела, формирующиеся на завершающих стадиях затвердевания глубинных массивов. Они занимают промежуточное положение между интрузивными породами и постмагматическими рудными жилами.

Пегматиты связаны с материнскими интрузивами пространственно, так как располагаются внутри их или в непосредственной близости от них. Они характеризуются тождественностью состава с этими породами, но отличаются от них меньшими размерами тел, их жило- и гнездообразной формой, зональным внутренним строением, неравномерной крупно- и гигантозернистой структурой пород, сложным минеральным составом, большим количеством минералов, содержащих летучие компоненты-минерализаторы, редкие и редкоземельные элементы, наличием признаков замещения ранних минеральных ассоциаций более поздними.

Пегматиты свойственны глубинным изверженным породам любого состава. Однако среди них преобладают и имеют ведущее значение гранитные пегматиты, реже встречаются щелочные и ультраосновные.

Несмотря на высокую промышленную ценность пегматитов, до сих пор остаются нерешенными многие генетические вопросы. Это объясняется многочисленностью их типов, сложностью расшифровки закономерностей строения и состава, что

свидетельствует о формировании пегматитов в широком диапазоне физико-химических и геологических условий.

Расхождение существующих гипотез происходит по следующим пунктам: роль пегматитообразующего магматического расплава и метасоматоза, источник преобразующих растворов, степень замкнутости системы и растворимость летучих соединений (воды и др.) в магматическом расплаве. По этим признакам известные гипотезы можно объединить приблизительно в три группы: это гипотезы остаточного расплава, метасоматического раствора, остаточного расплава и метасоматического раствора.

Согласно первой гипотезе, предложенной А.Е. Ферсманом и развитой затем К.А. Власовым, А.И. Гинзбургом и другими исследователями, пегматиты являются продуктом затвердевания обособленной от магматического очага остаточной магмы, обогащенной летучими компонентами — H_2O , F, Cl, B, CO_2 и др. Вначале кристаллизуются типичные магматические минералы, которые затем подвергаются воздействию летучих минерализаторов, создающих пневматолито-гидротермальные растворы. Первичные минералы частично замещаются, возникают новые.

Процесс минералообразования идет в интервале температур от 800—700 до 500—400 °С. При этом в каждую фазу пегматитообразования выделяются характерные минералы и соответственно изменяется строение пегматитовых тел.

Гранитные пегматиты делятся, по А.Е. Ферсману, на пегматиты чистой линии и пегматиты линии скрещения. Первые залегают в гранитах или аналогичных породах и их состав соответствует таковому материнских пород. Пегматиты линии скрещения образовывались среди пород существенно других типов. В этих условиях возникали гибридные пегматиты, которые ассимилировали вещество боковых пород, и десилицированные пегматиты, частично отдавшие кремнезем во вмещающие породы.

В минеральном составе пегматитов преобладают силикаты и оксиды. Гранитные пегматиты чистой линии сложены полевыми шпатами, кварцем и слюдами. Гибридные пегматиты изменяют состав в зависимости от состава ассимилируемых пород и содержат такие минералы, как дистен, силлиманит, роговая обманка, пироксен, сфен и корунд.

Вторая гипотеза отрицает значение остаточного магматического расплава и ведущую роль в становлении пегматитов отдает процессам собирательной перекристаллизации близких к гранитным пегматитам пород (гранитов, аплитов). Перекристаллизация осуществляется под воздействием горячих газовой-водных растворов и приводит к формированию крупно- и гигантозернистых минеральных агрегатов. На следующем этапе могут происходить их метасоматические преобразования. Эта точка зрения развита в трудах А.Н. Заварицкого, В.Д. Никитина и др.

Следующая гипотеза имеет компромиссный характер. Ее авторы — Р. Джонс, Ф. Хесс и др. — считают, что пегматиты формировались в два этапа — магматический и метасоматический. На первом этапе из расплава кристаллизуются зональные пегматиты, на втором под воздействием газовой-водных минерализованных глубинных растворов осуществляется метасоматическая переработка ранее отложенных минералов с выносом отдельных компонентов. Так возникают метасоматические части пегматитов, содержащие кварц, альбит, мусковит, минералы редких металлов.

Особое положение занимает наиболее поздняя гипотеза (Г. Рамберг, Ю.М. Соколов и др.) метаморфогенного генезиса пегматитов. Согласно этой гипотезе, пегматиты формируются на разных стадиях метаморфического преобразования преимущественно докембрийских пород и по особенностям состава соответствуют фазе метаморфизма вмещающих пород.

Вероятнее всего, в различной геологической обстановке процесс пегматитообразования может протекать различными путями. Но при этом все пегматитовые месторождения обладают характерным набором общих геологических, минералогических и геохимических признаков. Это объективное явление известно как принцип конвергентности месторождений.

Преобладающая форма пегматитовых тел — простые плитообразные и сложные жилы; реже встречаются линзы, гнезда и трубообразные тела. Размеры тел весьма разнообразны: мощность колеблется от 10—25 до 50—200 м; длина по падению составляет десятки-сотни метров, по простиранию — сотни метров—километры.

Типы месторождений

Согласно генетической классификации, пегматитовые месторождения делятся на простые, перекристаллизованные и метасоматически замещенные.

Простые пегматиты. По минеральному и химическому составу простые пегматиты соответствуют исходным породам. Так, простые гранитные пегматиты содержат кварц, калиевые полевые шпаты, кислые плагиоклазы и примеси мусковита, турмалина и граната. Они характеризуются письменной (графической) или гранитной структурой, не обнаруживают признаков перекристаллизации и метасоматоза.

Промышленное значение среди простых пегматитов имеют только кварц-полевошпатовые месторождения, служащие для получения комплексного керамического сырья, используемого в фарфоровой и фаянсовой промышленности. Месторождения керамических пегматитов известны в Карелии (Хетоламбино, Чкаловское, Лупикко), на Кольском полуострове, Украине (Бельчаковское, Глубочанское), в Восточной Сибири (Мамско-Чуйские), Швеции, Финляндии, Норвегии, Индии, США, Канаде, Бразилии.

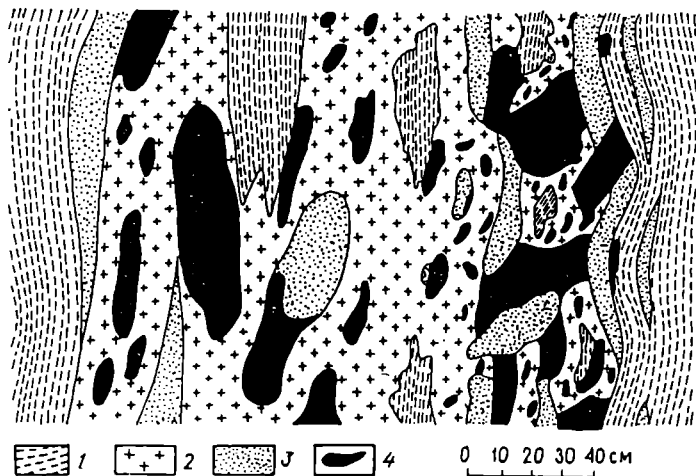


Рис. 2.5. Строение жилы перекристаллизованного пегматита (по В.И. Смирнову):

1 — гнейсы; 2 — мелко- и среднезернистые пегматиты; 3 — кварц; 4 — мусковит

Перекристаллизованные пегматиты. Для перекристаллизованных пегматитов типична разномасштабная крупно- и гигантомасштабная структура, сформированная в результате перекристаллизации исходного вещества под воздействием газовой-водных растворов. В процессе перекристаллизации возникают крупные выделения кварца, калиевого полевого шпата и мусковита (рис. 2.5). Зональность может отсутствовать. Описываемые пегматиты образуют самостоятельные поля или тела среди полей более сложных пегматитов.

С перекристаллизованными пегматитами связаны мусковит-кварц-полевошпатовые месторождения, являющиеся единственным промышленным источником мусковита. Месторождения этого типа сосредоточены в Мамско-Чуйском районе Восточной Сибири, Карелии (Чупино-Лоухская группа), на Кольском полуострове (Ёнское и Стрельнинское). За рубежом основная добыча мусковита приходится на месторождения перекристаллизованных пегматитов Индии и Бразилии.

Метасоматически замещенные пегматиты. Пегматиты этого типа не только перекристаллизованы, но и метасоматически преобразованы под воздействием горячих газовой-водных минерализованных растворов. Для них характерно зональное строение, наличие крупных (до 200 м³) открытых полостей с друзами кристаллов ценных минералов.

В целом они распространены шире перекристаллизованных пегматитов, но сравнительно редко образуют крупные (по запасам) месторождения. С метасоматически замещенными пегматитами связаны месторождения следующих типов, имеющие важное промышленное значение:

- сподумен-кварц-полевошпатовые (Россия, ЮАР, Канада, США); (разрез одного из зональных пегматитовых тел приведен на рис. 2.6);
- берилл-кварц-полевошпатовые (Россия, Конго, Замбия, Австралия, США, Бразилия);
- драгоценных камней — горного хрусталя, аметиста, топаза, аквамарина, турмалина (Россия, Казахстан, Украина, Афганистан, Индия, Австралия, Бразилия);
- корундовые с его драгоценными разновидностями — сапфиром и рубином (Урал, Индия, ЮАР, Австралия, Канада, США).

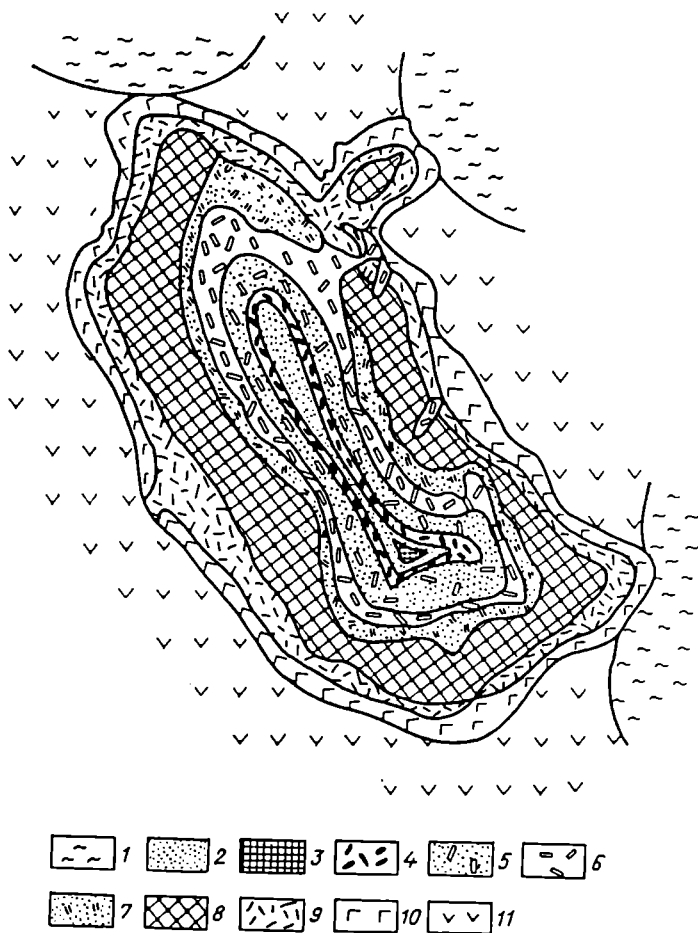


Рис. 2.6. Геологический разрез тела метасоматически замещенного пегматита (по Н.А. Солодову):

1 — наносы; 2—10 — зоны пегматитового тела: 2 — блокового кварца, 3 — крупноблокового микроклина II; 4 — мелкопластинчатого альбита, 5 — кварц-сподуменовая, 6 — клеветландит-сподуменовая, 7 — кварц-мусковитовых гнезд, 8 — крупноблокового микроклина I, 9 — гнезд мелкозернистого альбита, 10 — графическая кварц-микроклиновая; 11 — вмещающие породы

Это специфический тип пегматитов, ранее относившийся к десилицированным. Метасоматоз здесь отличается значительным выносом кремнезема (десиликацией) и развивается в случаях, когда пегматитовые тела формируются в резко отличающихся от них по составу горных породах (карбонатных, ультраосновных).

Кроме того, с метасоматически замещенными пегматитами связаны промышленные месторождения олова, тантала, ниобия, урана, тория. В ряде случаев они служат коренными источниками крупных россыпей касситерита, циркона, драгоценных камней, широко распространенных на юге КНР, в Индии и Бразилии.

2.4. ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Условия образования

Гидротермальные месторождения формируются преимущественно за счет горячих минерализованных газовой-жидких растворов, циркулирующих в верхней части земной коры и являющихся производными остывающих магматических тел. Растворы, в которых переносятся минеральные вещества и из которых образуются полезные ископаемые, являются большей частью водными. По физико-химическому составу они могут относиться к взвесям, коллоидным и молекулярным (истинным) растворам.

Взвеси, или суспензии — это растворы с размером частиц дисперсной фазы более 0,1 мкм. В гидротермальном рудообразовании они значимой роли не играют. Коллоидные растворы (размер частиц дисперсной фазы от 0,1 до 1 мкм) имеют большее значение в гидротермальном процессе. При их коагуляции возникают гели, которые в дальнейшем превращаются в метаколлоидные минеральные массы. Истинные, или молекулярные, растворы (размер ионов и молекул от 0,1 до 1 нм) являются основными источниками гидротермального рудообразования.

Предполагают, что источниками воды гидротермальных растворов могут быть воды магматические, метаморфические, захороненные древних осадков, атмосферные глубокой циркуляции. Магматическая, или ювенильная, вода отделяется от магматических расплавов в процессе их застывания и формирования изверженных горных пород. По данным эксперимента

и изучения излившихся лав, содержание воды в магме составляет от 1 до 7 %, что может объяснить масштабы развития гидротермальных месторождений.

Метаморфическая вода выделяется при метаморфизме горных пород под воздействием высокой температуры и давления. В неизмененных породах содержится поровая, пленочная, капиллярная, интерминеральная и конституционная вода, количество которой может достигать 3 % от массы породы. При метаморфизме, следовательно, может возникнуть огромное количество воды, способной образовать гидротермальные растворы.

Захороненная вода первичного морского происхождения находится в поровом пространстве древних осадков в количестве до 10—30 % от массы пород. Под воздействием различных геологических процессов эта вода может высвобождаться, создавая гидротермальные потоки вдоль водопроницаемых структур. Атмосферная, или метеорная, вода при благоприятных гидрогеологических условиях способна проникать в глубинные части земной коры. В результате нагрева и поглощения минеральных веществ она приобретает свойства гидротермальных растворов.

Источники минеральных веществ могут быть ювенильными магматическими, ассимиляционными магматическими и фильтрационными немагматическими. Ювенильные магматические источники рудообразующих веществ являются производными первичной подкоровой базальтоидной магмы. Они обеспечивают концентрации железа, ванадия, никеля, меди и др. Ассимиляционные магматические источники рудообразования связаны с гранитоидной магмой, возникшей при переплавлении нижней части осадочной оболочки земной коры. Подобные источники типичны для месторождений олова, вольфрама, бериллия, лития, ниобия, тантала. Если минеральные вещества заимствуются из боковых пород при циркуляции гидротермальных растворов, то говорят о фильтрационных немагматических источниках. При фильтрации в раствор могут переходить такие петрогенные элементы, как кремний, кальций, магний, калий, хлор, а также такие металлогенные элементы, как свинец, цинк, золото, уран, никель, кобальт, олово, бериллий, вольфрам.

Минеральные вещества переносятся в гидротермальных растворах в форме истинных или коллоидных растворов минералов, легкорастворимых соединений простых ионных раство-

ров, легкорастворимых соединений комплексных ионно-молекулярных растворов. Последняя из перечисленных форм переноса считается наиболее универсальной. Это объясняется высокой растворимостью металлов в комплексных ионных растворах, с одной стороны, и относительно легким распадом комплексных ионов на простые при изменении физико-химических условий с образованием труднорастворимых соединений, выделяющихся в осадок.

Перемещение вещества гидротермальным раствором может осуществляться диффузией в застойном растворе и инфильтрацией в движущемся. Диффузионный перенос веществ зависит от градиента их концентрации на путях гидротермальной миграции. Инфильтрационный перенос происходит под давлением парообразной фазы, выделившейся из магмы, давлением столба вышележащих пород или под влиянием односторонних тектонических движений.

Причинами отложения минеральных масс гидротермальными растворами могут быть следующие: обменные реакции веществ в растворе и при смешении растворов, обменные реакции между растворами и боковыми породами, изменение рН (кислотности-щелочности) среды, коагуляция коллоидов, фильтрационный эффект, сорбция, воздействие естественных электрических полей, изменение температуры растворов и давления системы.

Скопления полезных ископаемых формируются вследствие отложения минеральных масс в пустотах горных пород или благодаря замещению последних. Поэтому форма тел гидротермальных месторождений зависит от морфологии рудовмещающих полостей или от конфигурации границ замещаемых пород. Характерными формами рудных тел являются жилы, штоки, гнезда, штокверки, линзы, пластообразные залежи и сложные комбинированные тела. Размеры тел различны — встречаются короткие жилы длиной всего 2—3 м (золото кварцевые жилы некоторых месторождений) и весьма протяженные (до 200 км) тела (Материнская жила в Калифорнии). По падению жилы прослеживаются обычно на десятки-сотни метров, но иногда на несколько километров.

Типы месторождений

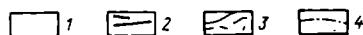
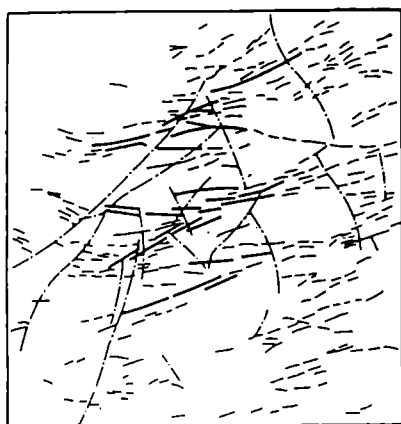
По условиям образования гидротермальные месторождения делятся на плутогенные или глубинные, и вулканогенные или поверхностные. Плутогенные и вулканогенные месторожде-

ния формируются в интервале температур от 400 до 50 °С и часто делятся на высокотемпературные (400—300 °С), среднетемпературные (300—200 °С) и низкотемпературные (200—50 °С).

Плутоногенные месторождения. Плутоногенные гидротермальные месторождения пространственно и генетически связаны с интрузиями кислых, умеренно кислых и умеренно щелочных изверженных горных пород. Оруденение распространено по вертикали на 1—2 км и отличается хорошей выдержанностью. Рудные тела формируются при выполнении пустот или метасоматически и характеризуются большим разнообразием форм, зависящих от состава вмещающих пород и тектонической структуры. Известны изометричные, плоские и трубообразные залежи согласного и секущего типов. Размеры тел колеблются в значительных пределах — от нескольких метров до нескольких десятков километров по протяженности. Типичны месторождения с большим количеством маломощных рудных тел.

Рудообразование сопровождается интенсивным изменением вмещающих горных пород. Наиболее широко распространены серицитизация, хлоритизация, окварцевание, доломитизация, лиственитизация, серпентинизация, флюоритизация, пиритизация, гематитизация. Текстуры руд вкрапленные, прожилковые, массивные, структуры — зернистые, порфировидные, эмульсионные, пластинчатые, сетчатые.

К плутоногенным принадлежат следующие типы месторождений: золото-кварцевый, вольфрамит-молибденит-кварцевый, касситерит-кварцевый, никель-кобальт-арсенидный, молибденит-халькопиритовый (медно-порфировый), галенит-сфалеритовый, золото-сульфидный, касситерит-силикатно-сульфидный, тальковый, магнетитовый, хризотил-асбестовый, флюоритовый и кино-



медно-порфировый), галенит-сфалеритовый, золото-сульфидный, касситерит-силикатно-сульфидный, тальковый, магнетитовый, хризотил-асбестовый, флюоритовый и кино-

Рис. 2.7. Схема размещения золото-кварцевых жил на Кочкарском месторождении (по Ф.И. Вольфсону):

1 — плагиограниты; 2 — промышленные жилы и рудные зоны; 3 — непромышленные жилы; 4 — разрывные нарушения

варь-антимонит-кварцевый. Кратко охарактеризуем основные из этих типов.

Золото-кварцевые месторождения обычно связаны с массивами гранитоидов, сопровождаемыми сериями даек. Рудные тела контролируются разрывными (рис. 2.7) и складчатыми тектоническими нарушениями; это преимущественно штокверки, простые и сложные жилы, в т. ч. седловидные, приуроченные к шарнирам складок. В рудах преобладает золотоносный кварц, содержание сульфидов не превышает 0,5—2 %. К этому типу относятся месторождения Урала (Кочкарское), Средней Азии (Мурунтау), Сибири (Коммунар, рудник «Советский»), Швеции (Болиден), Индии (Колор), Мали, Конго, Австралии (Бендиго), Канады, Бразилии.

Вольфрамит-молибденит-кварцевые месторождения представлены крутопадающими жилами, трубообразными телами и штокверковыми зонами вкрапленных руд, которые локализируются в куполах гранитоидов и в зонах их экзоконтактов. В России месторождения этого типа расположены в Забайкалье (Джида, Белуха, Букука, Шахтама) и Казахстане (Шалтия, Верхнее Кайракты). Они развиты в Португалии, Норвегии (Кнабен), КНР (Ляндюшань, Шанпин), Монголии, Мьянме, Австралии, США (Квеста), Канаде (Ред-Роуз, Босс-Маунтин).

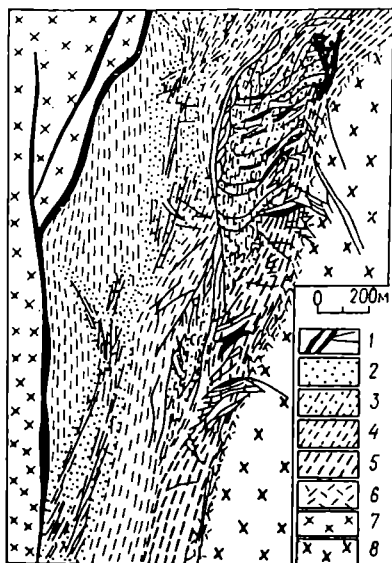
Касситерит-кварцевые месторождения залегают среди песчаников и сланцев в экзоконтактах гранитных интрузивов. Вкрапленные, прожилковые и массивные руды образуют жилы заполнения, оруденелые зоны и штокверки, трубообразные тела. Месторождения этого типа распространены в Забайкалье (Онон, Ималка), на Чукотке (Иультин), в Великобритании (Корнуолл), Португалии, КНР, Нигерии.

Никель-кобальт-арсенидные месторождения приурочены к скарнированным эффузивно-осадочным породам. Вкрапленные руды образуют гнезда и линзы, массивные слагают крутопадающие жилы. Типичными представителями данного типа являются месторождения Ховуаксы (Респ. Тыва) и Кобальт (Канада).

Молибденит-халькопиритовые (медно-порфировые) месторождения формируют штокверки и прожилково-вкрапленные зоны рассеянного оруденения вблизи выступов магматических гранитоидных пород порфирового строения (с чем и связано их название «порфировые»). В рудоносной зоне развиты гидротермально-измененные породы. Оруденение контролируется региональными разломами, системами трещиноватости и, как

Рис. 2.8. Схема геологического строения медно-порфирового месторождения Чукикамата (по В. Лопесу и В. Перри):

1 — рудные жилы и прожилки; 2 — 6 — измененные палеогеновые монцитонитовые порфиры: 2 — окварцованные, 3 — серицитизированные и слабоокварцованные, 4 — интенсивно серицитизированные, 5 — альбитизированные и серицитизированные, 6 — хлоритизированные и альбитизированные; 7—8 — гранодиориты: 7 — палеогеновые, 8 — юрские



правило, характеризуется зональным строением. Месторождения этого типа распространены в Казахстане (Конаурд), Узбекистане (Кальмакыр), Армении (Каджаран, Агарах). Крупные месторождения имеются в США (Бингем, Кляймакс), Чили (Чукикамата — рис. 2.8), Болгарии (Медет).

Касситерит-силикатно-сульфидные месторождения залегают в песчаниках, сланцах, известняках, эффузивах, в экзоконтактовых зонах гранитоидных массивов, вдоль разломов и зон брекчирования; оруденение часто контролируется дайками. Руды вкрапленные, прожилковые и массивные. Они образуют жилы, штокверки, трубо- и линзовидные тела. Главными рудными минералами являются касситерит и пирротин, жильными — кварц, турмалин и хлорит.

Месторождения этого типа находятся в Забайкалье (Хапчеганга), Респ. Саха (Якутия) (Эге-Хая, Депутатское), Приморье (Хрустальное), на Чукотке (Валькумей), в Великобритании (Крофти), Канаде (Маунт-Плезант), Австралии.

Галенит-сфалеритовые (полиметаллические) месторождения представлены зонами вкрапленного оруденения, линзами, залежами и штоками массивных руд, размещенными в кислых и основных эффузивах, их туфах, метаморфических сланцах, в экзоконтактах массивов кислых и умеренных гранитоидов. В состав руд кроме галенита и сфалерита входят пирит, блеклые руды, халькопирит, а из нерудных минералов — барит, карбо-

наты, кварц, серицит. Месторождения описываемого типа известны на Кавказе (Садон, Згид, Холст), в Забайкалье (Нерчинская группа), в Германии (Фрайберг), Чехии (Пршибрам), Болгарии (Мадан, Русн), Индии, Мьянме (Боудвин), США (Тинтик), Канаде.

Золото-сульфидные месторождения залегают обычно в породах кровли или в самих массивах гранитоидов. Рудные тела имеют преимущественно жильную форму. Руды сложены кварцем, баритом, карбонатами, пиритом, халькопиритом, сфалеритом, блеклыми рудами. Золото встречается в самородном виде или в виде примесей в сульфидах. Месторождения данного типа развиты на Урале (Березовское), в Казахстане (Степняк), Забайкалье (Дарасунское), Западной Сибири (Берикульское, Саралинское), в Австралии, США (Материнская жила), в Канаде.

Хризотил-асбестовые месторождения связаны с серпентинизированными ультраосновными породами. Характерны крупные залежи с зонами отороченных жил, крупные и мелкие сетки прожилков, единичные жилы, которые приурочены к мощным зонам разломов. Текстуры — прожилковые, поперечно- и продольно-волокнистые. Месторождения этого типа распространены на Урале (Баженовское, Алапаевское, Джетыгаринское), в Респ. Тыва (Актотракское); Забайкалье (Молодежное), а также в Зимбабве (Шабани, Машаба), ЮАР (Нью-Амиантус), Канаде (Джефри, Блек-Лейк).

Вулканогенные месторождения. Гидротермальные вулканогенные месторождения связаны преимущественно с наземным андезит-дацитовым вулканизмом геосинклиналей, а также щелочным и трапповым магматизмом активизированных платформ. Наиболее характерны месторождения, приуроченные к жерлам вулканов и их периферии.

Месторождениям свойственны конические, кольцевые, трубчатые, внутрижерловые и радиально-трещинные внежерловые структуры. Известны также месторождения, контролируемые разломами и поверхностями напластования эффузивных пород. Рудные тела имеют форму жил, труб и штокверков, которые сравнительно быстро выклиниваются на глубине 300—500 м. Минеральный состав руд сложный. Типично весьма неравномерное распределение полезных компонентов, наличие так называемых рудных столбов, сложенных богатой рудой. Среди

текстур наиболее распространенными являются метаколлоидные. На вулканогенных месторождениях обычно отмечаются гидротермальные изменения эффузивных пород, выражающиеся в их окварцевании, пропилитизации, алунитизации, каолинизации.

Среди описываемых месторождений выделяются следующие основные типы: магнетитовый, касситерит-сульфидный, киноварный, золото-серебряный, алунитовый, серный (самородной серы), цеолитовый.

Магнетитовые месторождения связаны с траппами и приурочены к штокам габбро-диабазов и вулканическим трубкам взрыва. Залегают они среди карбонатных и песчано-сланцевых пород, скарнированных интрузивных траппов. Руды по текстуре массивные, вкрапленные и брекчиевидные, часто друзовые и гребенчатые; они образуют жилы, штоки и штокверковые зоны в пределах вулканических трубок и вдоль зон тектонических нарушений. В состав руд кроме магнетита входят гематит, карбонаты, в меньшем количестве присутствуют хлорит, апатит,

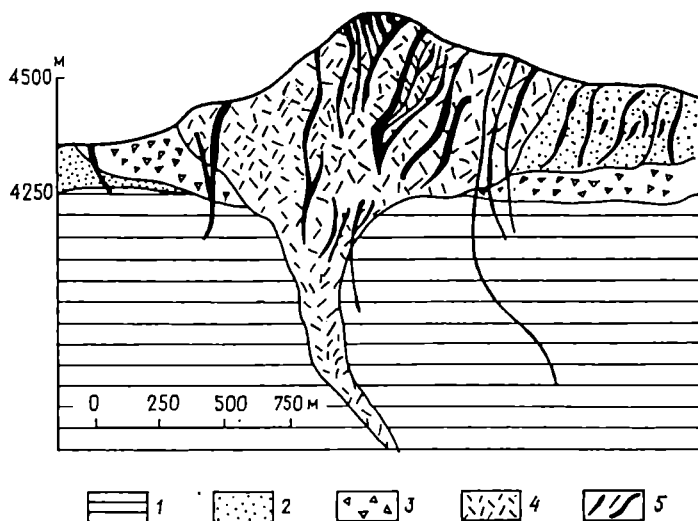
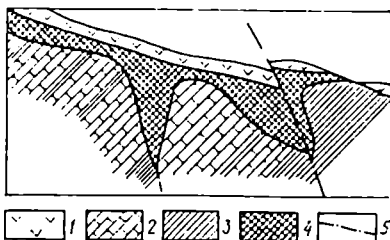


Рис. 2.9. Геологический разрез месторождения Потоси в Боливии (по Х. Мурильо):

1 — сланцы ордовика; 2 — вулканогенно-осадочные породы третичного возраста; 3 — вулканические брекчии; 4 — андезиты-дациты; 5 — рудные жилы

Рис. 2.10. Схематический геологический разрез месторождения Монте-Амиата (по В.И. Смирнову и др.):

1 — трахиты четвертичного возраста; 2—3 — меловые породы: 2 — известняки, 3 — сланцы; 4 — рудное тело (оруденелые брекчии); 5 — разломы



кварц и сульфиды. Типичными примерами являются месторождения Восточной Сибири — Коршуновское, Рудногорское, Нерюндинское, Тагарское.

Касситерит-сульфидные месторождения ассоциируют с дайками, субвулканическими интрузивами среднего состава и приурочены к разломам и зонам трещиноватости в них. Вмещающими породами являются песчаники, глинистые сланцы, эффузивы, эруптивные брекчии. Формы рудных тел: жилы, гнезда, оруденелые брекчии, штокверки, неправильные залежи. Текстуры руд преимущественно брекчиевые и полосчатые. Руды состоят из касситерита, галенита, сфалерита, пирита, халькопирита, арсенопирита. Месторождения этого типа известны в Приморье (Джалиндзинское, Хинганское), в Японии (Акенобе), Боливии (Ллалгуа, Потоси — рис. 2.9), Мексике (Дуранга, Эль-Сантин).

Киноварные (ртутные) месторождения по условиям формирования и пространственно связаны с четвертичным вулканизмом кислого и среднего состава. Их размещение контролируется сопряжением разломов, экструзивов, зон брекчирования (рис. 2.10). Руды вкрапленные и прожилковые, образуют штокверки, рассеянную вкрапленность, примазки, выполняют трещины в зонах дробления и брекчирования. Кроме киновари в состав руд входят антимонит, реальгар, самородная сера, пирит, марказит. Месторождения расположены на Чукотке (Пламенное), Камчатке (Чемпура), в Приамурье (Ланское), Закарпатье (Боркут), в Италии (Монте-Амиата), Алжире (Ислаим), Японии (Итомука), США (Мак-Дермит-Опалит), Новой Зеландии (Пуи-Пуи).

Золото-серебряные месторождения, ассоциирующие с субвулканическими интрузивами кварцевых порфиров, приурочен-

ны к глубинным разломам, зонам дробления, древним вулканам. Чаще всего они размещаются среди андезит-дацитовых пород и обычно представляют собой пучки жил, прорезающих вулканические жерла. Руда состоит в большинстве случаев из кварца, халцедона, опала, карбонатов с пиритом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом, серебром, золотом. К этому типу относятся месторождения Забайкалья (Валей, Белая гора, Тасевское); за рубежом они развиты в США (Крипл-Крик, Комсток) и Румынии.

Месторождения самородной серы обычно приурочены к склонам, подножиям, кальдерам стратовулканов или к межвулканическим впадинам. Рудные тела локализуются преимущественно в зонах пересечения толщ пористых пирокластических пород с разрывными тектоническими нарушениями и имеют разнообразную форму (линзы, штоки, пласто- и трубообразные залежи). Рудоносными являются вулканогенные породы, превращенные под действием сернокислых растворов во вторичные кварциты, содержащие вкрапленность самородной серы. К этому типу принадлежат месторождения Камчатки (Новое, Заозерное и др.), а также Японии (Мацуо, Адзума), Чили (Копиано), Перу, Филиппин.

2.5. КОНТАКТОВО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Условия образования

В класс контактово-метасоматических объединяются месторождения, пространственно и генетически тесно связанные с приконтактовыми зонами массивов интрузивных пород и сформированные в основном в результате процессов метасоматоза.

Метасоматоз представляет собой процесс замещения одного минерального агрегата другим, происходящий с изменением химического состава. Растворение одних минералов и образование других происходит почти одновременно, при этом минеральные агрегаты (горючие породы) сохраняют твердое состояние и объем их не изменяется.

Наиболее активно метасоматическое замещение осуществляется при повышенных температурах, когда возрастает скорость химических реакций. Увеличение же давления, способствующее растворению вещества, процессам метасоматоза не

благоприятствует. Кроме температуры и давления существенное влияние на метасоматические процессы оказывают пористость, трещиноватость, состав замещаемых пород. Эмпирически выявлен следующий ряд горных пород в порядке уменьшения их активности в описываемых процессах: карбонатные породы — туфы основного и кислого состава — основные эффузивные — кислые эффузивные — основные интрузивные — кислые интрузивные — метаморфизованные глинистые и кремнистые породы.

В процессах метасоматоза во всех случаях участвуют химически активные газово-водные растворы, привносящие и выносящие химические компоненты. Для контактово-метасоматических месторождений основным источником растворов является отделение их от магматических расплавов в ходе эволюции последних. Определенную роль могут играть и растворы, поднимающиеся с больших глубин и выделяющиеся в процессе дегазации мантии, т.е. имеющие единый источник с внедряющимися магматическими расплавами. Растворы являются существенно водными, содержат значительные количества углекислоты, хлоридов щелочных металлов, сернистых соединений и других компонентов, в т. ч. и рудных. Просачиваясь через трещины и поры горных пород, они вызывают метасоматические замещения в них. По мере понижения температуры фазовое состояние растворов меняется от существенно газового (пневматолитовые растворы) до жидкого (гидротермальные растворы).

Перенос вещества может осуществляться путем диффузии, когда химические компоненты перемещаются через неподвижные поровые растворы от мест их повышенных концентраций к участкам, где концентрации понижены, или путем инфильтрации, когда растворенные вещества переносятся течением самого раствора. В связи с этим Д.С. Коржинский, наиболее полно разработавший теорию метасоматоза, выделяет два основных его вида — диффузионный и инфильтрационный.

К классу контактово-метасоматических отнесены альбититовые, грейзеновые (часто объединяемые в альбитит-грейзеновые) и скарновые месторождения. Различия между подклассами заключаются в основном в составе активных магматических и вмещающих пород, характере метасоматоза, наличии специфических типов месторождений полезных ископаемых.

Альбититовые и грейзеновые месторождения объединяются общностью происхождения, источника рудообразующих ком-

понентов, а иногда и совместным происхождением. В типичных случаях они приурочены к апикальным частям массивов кислых и щелочных гипабиссальных изверженных пород, которые подвергаются щелочному метасоматозу.

Месторождения формируются в результате воздействия химически активных постмагматических растворов на раскристаллизовавшиеся горные породы. На начальных стадиях процесса, когда растворы являются существенно газовыми (надкритическими), развивается натриевый метасоматоз, приводящий к образованию альбититов. При накоплении же избыточного калия возникают грейзены, формирующиеся на фоне возрастающей кислотности растворов на стадии перехода их из надкритического состояния в гидротермальное. Следовательно, альбититы образуются раньше, в тыловой части метасоматической колонки, и связаны с воздействием надкритических растворов, а грейзены — позже из менее высокотемпературных газовой-водных кислых растворов по фронту метасоматоза. Температура становления альбититов и грейзенов оценивается в 650—300 °С, оптимальная глубина — в 1—4 км, давление — 130—10 МПа.

Формирование скарновых месторождений связано с процессами кальциевого и магниевого метасоматоза, протекающего на контактах кислых и умеренно-кислых гранитоидов (граниты, гранодиориты, сиениты) с вмещающими их карбонатными, реже силикатными породами. Оптимальный диапазон глубин составляет 500—2000 м. Температуры их образования, по мнению большинства исследователей, изменяются в широких пределах — от 900 до 250 °С. Процесс развивается в несколько стадий, в течение которых агрегатное состояние растворов меняется — и из пневматолитовых они становятся типичными гидротермальными.

В заключение следует отметить, что главная особенность всех контактово-метасоматических месторождений заключается в том, что вмещающие их породы — альбититы, грейзены, скарны — по происхождению относятся к метаморфогенным, поскольку метасоматоз есть не что иное, как особый вид контактового метаморфизма. Источник же рудного вещества по своей природе является магматогенным, поскольку полезные компоненты в основном выносятся газовой-водными растворами из магматических расплавов. Это и дает основание выделить описываемые месторождения в промежуточную магматогенно-метаморфогенную группу.

Типы месторождений

Альбититовые месторождения. Как промышленный объект данные месторождения привлекли внимание исследователей сравнительно недавно и систематическое изучение их насчитывает два десятка лет.

Альбититы представляют собой образованные метасоматическим путем лейкократовые породы, в которых на фоне основной мелкозернистой альбитовой массы отмечаются порфировые выделения кварца, микроклина, слод, щелочных амфиболов или пироксенов.

Альбититовые месторождения связаны с разновозрастными интрузивными комплексами кислого и щелочного состава малых и средних глубин. Размещаются они в апикальных частях, апофизах, куполовидных выступах интрузивных массивов и часто контролируются зонами разрывных тектонических нарушений. Локализация оруденения в пределах апикальных участков объясняется тем, что здесь возникли зоны пониженного давления, длительное время служившие коллекторами рудообразующих растворов, выделявшихся из глубоких частей интрузивных массивов.

Рудные тела месторождений — преимущественно штокверки и минерализованные зоны дробления — обладают сложным вещественным составом. Площадь развития оруденения достигает нескольких квадратных километров, глубина распространения — первые сотни метров, реже до 600 м.

К альбититам приурочены месторождения тантала, ниобия, тория, урана, редких земель, циркония. Они развиты на территории России, КНР, Индии, Намибии, Нигерии, Канады, Бразилии.

Грейзеновые месторождения. Грейзены в наиболее общем случае состоят из агрегатов слод (мусковита, биотита, лепидолита) и кварца, но часто содержат также топаз, флюорит, турмалин и рудные минералы. Основная масса грейзенов образуется в апикальных выступах гранитных массивов и алломосилкатных породах их кровли — песчаниках, сланцах, эффузивах. В связи с этим выделяют эндогрейзены, располагающиеся в самих магматических породах и экзогрейзены, локализованные во вмещающих породах. Характерными формами рудных тел грейзеновых месторождений являются жилы, штокверки, минерализованные зоны. Мощность жил составляет от нескольких сантиметров до нескольких метров, протяженность по простиранию достигает 1—2 км, длина по падению изменяется от

70—80 до 600 м. Часто встречаются сложные жильно-штокверковые образования.

Как уже отмечалось, грейзеновые месторождения тесно связаны с альбититовыми генетически, а иногда и пространственно, но существенно отличаются от них по металлогенической специализации. Если типоморфными элементами альбититов являются ниобий, тантал и цирконий, то для грейзенов прежде всего характерны вольфрам, олово, молибден и др.

Среди грейзеновых месторождений по преобладающей рудной минерализации можно выделить следующие основные типы: вольфрамит-топаз-кварцевый, касситерит-топаз-кварцевый и комплексный вольфрамит-молибденит-топаз-кварцевый.

Вольфрамит-топаз-кварцевые месторождения приурочены к апикальным куполовидным частям массивов лейкократовых и пегматоидных гранитов и их экзоконтактовым зонам. Рудные тела имеют форму штоков, штокверков, жил. Главный рудный минерал — вольфрамит — часто сопровождается касситеритом, молибденитом, висмутином.

Вмещающие породы грейзенизированы, мусковитизированы, биотитизированы и окварцованы. Месторождения данного типа развиты в Забайкалье (Спокойнинское), Казахстане (Акча-тау, Кара-Оба), в Чехии (Циновец), Германии, Франции (Монтебрас), КНР (Пяотан, Синьхуаньшань), Монголии (Югодзыр, Баянмод), Австралии (Вольфрам Кемп, Террангтон).

Касситерит-топаз-кварцевые месторождения связаны с лейкократовыми аляскитовыми гранитами гипабиссальной фации. Рудные жилы и штокверки локализованы как в самих гранитах, так и в породах кровли. Главные рудные минералы — касситерит и вольфрамит. Вмещающие породы подвергнуты грейзенизации, калишпатизации и альбитизации. Месторождения описываемого типа известны на Чукотке (Экуг), в Забайкалье (Этька), Приморье (Чапаевское), в Средней Азии (Актас), в Германии (Альтенберг), КНР (Лиму), Мьянме (Маучи), США (Лост-Ривер).

Молибденит-вольфрамит-топаз-кварцевые месторождения обычно приурочены к куполам аляскитовых гранитов и перекрывающим их роговикам. Грейзены контролируются разломами, кольцевыми и линейными трещинами, границами кливажа. Главные рудные минералы представлены молибденитом и вольфрамитом. К данному типу относятся месторождения Забайкалья (Булуктай, Первомайское), Центрального Казахста-

на (Восточный Коунрад, Жанег), Монголии, Аргентины (Серро-Асперро).

С герцезенами связаны также имеющие важное промышленное значение месторождения бериллия.

Скарновые месторождения. Скарны — это породы карбонатно-силикатного состава, образовавшиеся метасоматическим путем в приконтактной зоне интрузивов среди карбонатных, реже силикатных пород. Скарны, содержащие ценное минеральное сырье, по количеству и качеству отвечающее требованиям промышленности, называются скарновыми, или контакто-метасоматическими, месторождениями полезных ископаемых. Различают эндоскарны, располагающиеся в пределах измененной части интрузивов, и экзоскарны, размещенные во вмещающих породах. Большая часть подобных пород относится к экзоскарнам, локализующимся непосредственно вдоль контактов интрузивов. Некоторые скарновые залежи по плоскостям напластования вмещающих пород удаляются от интрузивов на десятки-сотни метров и даже на 1—2 км.

Наиболее интенсивно скарнообразование идет на контактах с интрузиями среднего состава (гранодиориты, кварцевые диориты, монцониты) и умеренных глубин. Благоприятными факторами для формирования скарновых месторождений являются пологие контакты интрузий, тектоническая нарушенность их эндо- и экзоконтактных зон, карбонатный состав вмещающих пород (известняки, доломиты и мергели).

Скарнообразование как метасоматический процесс приводит к появлению рудных тел с многочисленными раздувами и пережимами, с характерными для метасоматических тел извилистыми границами. По морфологии выделяются скарновые залежи следующих типов: пластовые и пластообразные, линзовидные, штоки, трубы, жилы и жилообразные, гнезда, сложные ветвящиеся тела (рис. 2.11). Гнездообразные обособления скарнов редко превышают в поперечнике несколько метров, трубообразные и жильные тела могут быть вытянуты на 1—1,5 км, пластообразные при мощности 150—200 м имеют протяженность до 2—2,5 км.

В зависимости от состава горных пород, вмещающих интрузии, скарны делят на известковые и магнезиальные (иногда

выделяют также силикатные скарны). Месторождения полезных ископаемых, связанные с этими основными видами скарнов, отличаются друг от друга вещественным составом, характерными комплексами полезных ископаемых, а также особенностями морфологии и условий залегания.

Известковые скарны формируются при замещении известняков. К главным минералам их относятся гранат (гроссуляр-андрадитового ряда) и пироксен (диопсид-геденбергитового ряда). Существенное значение в составе известковых скарнов могут иметь везувиан, волластонит, амфиболы, эпидот, магнетит, кварц, карбонаты. В скарновых залежах нередко выявляется зональное строение, выражающееся в закономерной смене высокотемпературных минеральных ассоциаций более низкотемпературными по мере удаления от материнской интрузии.

Текстуры известково-скарновых руд довольно разнообразны. Для них типичны друзовые текстуры, в которых встречаются хорошо образованные кристаллы, наблюдаются также полосчатые, возникающие при метасоматическом замещении слоистых или рассланцованных вмещающих горных пород, широко распространены массивные и вкрапленные.

Известковые скарны вмещают промышленные месторождения всех металлов, кроме хрома, сурьмы и ртути, а также многих неметаллических полезных ископаемых. Ведущую роль играют рассматриваемые ниже типы месторождений.

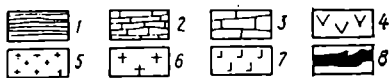
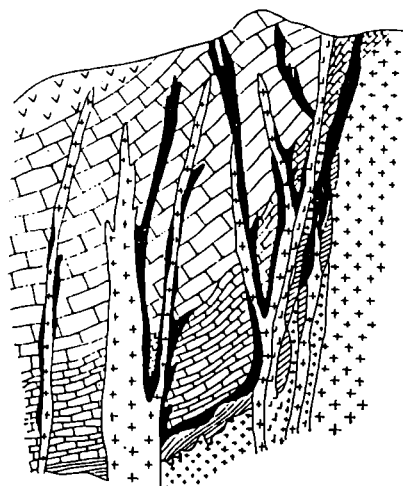
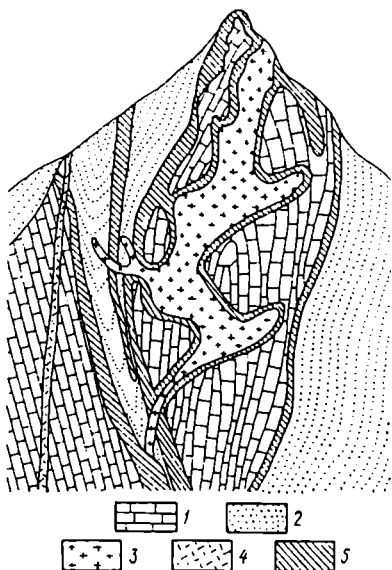


Рис. 2.11. Схематический геологический разрез скарнового месторождения Алтын-Топкан (по А.А. Амирасланову):

1 — эффузивно-осадочные породы; 2 — доломиты; 3 — известняки; 4 — туфы; 5 — гранодиориты; 6 — гранодиорит-порфиры; 7 — гранит-порфиры; 8 — рудные тела

Рис. 2.12. Геологический разрез месторождения Тырнауз (по В.И. Смирнову):

1 — мраморизованные известняки; 2 — биотитовые роговики; 3 — лейкократовые гранитоиды; 4 — липариты; 5 — скарны



Магнетитовые и кобальт-магнетитовые месторождения связаны с умеренными гранитоидами небольших глубин и сиенитами. Рудные тела залегают в карбонатных, реже в силикатных породах (среди эффузивов, интрузивов, туфов и сланцев). Форма тел пластовая, штокообразная и неправильная ветвистая. Залежи могут прослеживаться на несколько километров при мощности в несколько метров. Главными рудными минералами являются магнетит, гематит, пирит, кобальтин, пирротин, нерудными — пироксен и гранат. Подобные месторождения находятся на Урале (Высокогорское, Гороблагодатское), в Казахстане (Соколовское, Сарбайское), Закавказье (Дашкесан), Западной Сибири (Таштагольское, Абаканское, Шерегешское), а также крупные месторождения имеются в Болгарии, Италии, КНР, Японии, США.

Месторождения молибденит-шеелитового типа приурочены к зонам брекчирования и структурам контактов гранитов, плагиогранитов, кварцевых диоритов с известняками, мраморами, сланцами. Форма рудных тел сложная, обычно штокверковая, реже жилообразная. Главные минералы рудоносных скарнов — молибденит, шеелит, молибдошеелит, сульфиды железа и меди, пироксены и гранаты. К этому типу принадлежат месторождения, расположенные на Северном Кавказе (Тырнауз — рис. 2.12), в Средней Азии (Лянгар, Чорух-Дайрон), в Марокко (Азгур), США (Бишоп), КНР.

Халькопиритовые месторождения локализуются в приконтактовой зоне гранодиоритов и эффузивов среди известняков. Руды слагают гнездо-, трубо- и жилообразные тела. Текстуры

их вкрапленные и массивные. К главным минералам относятся халькопирит, пирит, пирротин, магнетит, сфалерит. Месторождения этого типа находятся на Урале (Турьинские рудники), в Казахстане (Чатыркульское, Базылщак), в США (Клифтон, Мэрисвейл), Мексике, Канаде, Швеции.

Галенит-сфалеритовые *скарновые месторождения* приурочены к контактам гранодирит-порфиров, гранит-порфиров и кварцевых порфиров с известняками. Рудные тела имеют сложную форму и крупные размеры, их размещение на месторождениях контролируется системами тектонических нарушений, зонами брекчирования и структурами контактов. Руды сложены галенитом, сфалеритом, пиритом, халькопиритом, пирротинном, гранатами и пироксеном. Крупные месторождения расположены в Приморье (Верхнее, Дальнегорское, Николаевское), Средней Азии (Алтын-Топкан, Кансай), Югославии (Трепча), США (Франклин, Лоуренс), Мексике, Турции, Афганистане.

Магнезиальные скарны формируются при замещении доломитов и доломитизированных известняков. Типоморфными минералами магнезиальных скарнов являются диопсид, форстерит (магниевый оливин), шпинель, флогопит, серпентин, магнетит, лодвигит (железо-магниевый борат), доломит, кальцит. Рудные тела представлены линзами, пластообразными и сложными залежами. Характерно их зональное строение. Наибольшее промышленное значение имеют лодвигит-магнетитовые (железо-борные), флогопитовые и хризотил-асбестовые месторождения.

Лодвигит-магнетитовые месторождения образуются на контакте гранодиоритов, гранитов, кварцевых порфиров и сиенитов с доломитами и известковистыми доломитами, реже с магнезитами. Линзовидные, пластообразные и более сложной формы залежи обладают зональным строением. Руды сложены лодвигитом, магнетитом, шпинелью, форстеритом и сульфидами. Месторождения этого типа известны в Восточной Сибири (Таежное, Железный Кряж), а также в Болгарии, Румынии, США, Перу.

Флогопитовые месторождения в магнезиальных скарнах приурочены к контактовым зонам гранитоидных интрузий с метаморфизованными известняками, доломитами, пироксеновыми метаморфизованными породами. Рудные тела, представленные крупными зонами с вкрапленностью и гнездами, а также одиночными крупными жилами и системами лестничных жил, приуроченных к зонам повышенной трещиноватости,

сложены флогопитом, апатитом, диопсидом, кальцитом, скаполитом. Месторождения данного типа развиты в Сибири (Прибайкалье, Алдан), а также в Канаде, Шри-Ланке, Индии, Мадагаскаре.

Хризотил-асбестовые месторождения формируются в контактовых ореолах гранитоидных интрузий среди доломитов. На месторождениях обычно наблюдаются серии параллельных жил разной мощности, приуроченные к серпентинитовым полосам, размещение которых контролируется тектоническими нарушениями. В состав руд входят хризотил-асбест (высококачественный безжелезистый), серпентин, карбонаты, магнетит, диопсид, оливин, гранат. Подобные месторождения известны в Красноярском крае (Аспагаш, Бистаг), Киргизии (Укок), в США (Аризона), Канаде, КНР, Южной Африке.

2.6. МЕТАМОРФИЗОВАННЫЕ И МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Условия образования

Процессы метаморфизма заключаются в преобразовании геологических тел под воздействием температуры, давления, газовых и жидких растворов. Эти преобразования влияют на условия залегания и морфологию тел полезных ископаемых, структуры и текстуры, на минеральный и химический состав пород и полезных ископаемых.

При процессах метаморфизма в наибольшей степени изменяются минеральный и химический состав полезных ископаемых и пород, их физические свойства. Устойчивые в экзогенных условиях коллоидные гидраты и богатые водой соединения в процессе метаморфизма, теряя воду, превращаются в безводные или бедные водой минералы, а в целом минеральные компоненты стремятся перейти в минералы с уменьшенным объемом и повышенной плотностью. Так, гидроксиды железа преобразуются при метаморфизме в магнетит, пиролюзит и манганит — в браунит, боксит — в корунд, опал — в кварц, фосфорит — в апатит; органическое вещество графитизируется; глинистые сланцы превращаются в гранат-сподистые. Формирующиеся в процессах метаморфизма минералы (магнетит, гематит, браунит, корунд, кварц, графит, гранат) устойчивы в но-

вых физико-химических условиях. В то же время известно много минералов (сера, гипс, алунит, малахит, гидроксиды железа), которые устойчивы в экзогенных условиях, но не сохраняются при метаморфизме.

С процессами метаморфизма связаны существенные изменения структурно-текстурных характеристик полезных ископаемых и вмещающих пород. Структура минеральной массы приобретает черты, свойственные метаморфическим комплексам. Возникают grano-, порфиروبластические, роговиковые, пластинчатые, листовые и сноповидные структуры. Текстура отличается развитием катаклаза и сланцеватости. Характерно полосчатое, сланцеватое, пльчатое, очковое и лучистое строение пород и руд. Метакolloидные текстуры сменяются кристаллическими.

Форма тел полезных ископаемых уплощается. Преобладают пласто-, линзо-, ленто- и жиллообразные залежи сплошных и вкрапленных руд. Размеры тел часто весьма крупные — десятки километров по протяженности и ширине при мощности в десятки и даже сотни метров.

Метаморфогенные месторождения разделяются на метаморфизованные и метаморфические. Метаморфизованными называются месторождения, сформировавшиеся в процессах регионального и термального контактового метаморфизма за счет ранее существовавших месторождений полезных ископаемых; при этом форма, состав и строение тел полезных ископаемых приобретают, как и вмещающие породы, метаморфические признаки, но промышленное применение минерального сырья не изменяется.

Метаморфические месторождения возникают в процессе метаморфизма горных пород или месторождений, как правило не представлявших до этого промышленной ценности. Таким образом, в этом случае сами полезные ископаемые являются результатом процессов метаморфизма.

В соответствии с основными видами метаморфизма месторождения обоих классов делятся на регионально-метаморфизованные (метаморфические) и контактово-метаморфизованные (метаморфические).

Типы месторождений

Метаморфизованные месторождения. Месторождения этой группы возникают при метаморфизме первичных осадочных бурожелезняковых или марганцевых месторождений, постмаг-

матических месторождений черных и цветных металлов, залежей угля и некоторых неметаллических полезных ископаемых. В процессах метаморфизма при превращении гидроксидов металлов в оксиды содержание ценных компонентов в рудах, как правило, увеличивается, вредных элементов — фосфора, серы, мышьяка и др. — уменьшается, а в целом качество железных и марганцевых руд обычно значительно улучшается. Метаморфизм сопровождается гидротермально-метасоматическими процессами, поэтому часто в общей массе рядовых руд наблюдаются штокообразные тела переотложенных богатых руд.

Среди *регионально-метаморфизованных месторождений* наибольшее значение имеют следующие типы: гематит-магнетитовый (железистых кварцитов) и браунит-гаусманитовый (марганцеворудный).

Месторождения железистых кварцитов (а также таконитов и итабиритов) широко распространены в докембрийских и частично нижнепалеозойских метаморфических породах фундамента всех древних платформ. Их состав определяется чередованием тонких прослоев кварца, содержащих гематит и магнетит, со слюдяными, амфиболовыми и хлоритовыми сланцами. Продуктивная железорудная свита сложена магнетит-мартитовыми роговиками, джеспилитами, хлоритовыми, биотитовыми и амфиболовыми сланцами. Мощность железорудной свиты в Криворожском бассейне около 1300 м; в ее полном разрезе насчитывается семь железистых и семь сланцевых горизонтов. Бедные железистые кварциты включают пластовые, линзо-, лентовидные и столбообразные залежи богатых руд, сформировавшихся при эпигенетическом переотложении первичного рудного вещества.

Описываемые месторождения развиты в районе КМА (Коробковское, Михайловское, Лебединское, Яковлевское, Стойленское), Кривого Рога (Скелеватское, Ингулецкое, Первомайское), на Кольском полуострове и в Карелии (Костомукшское, Оленегорское, Кировогорское), на Малом Хингане, в Казахстане (Карсакпайская группа), в КНР, КНДР, ЮАР, Австралии (Хамерсли), США (оз. Верхнее), Канаде, Бразилии.

Браунит-гаусманитовые (марганцевые) месторождения формируются либо вследствие изменения первичных оксидных, либо в связи с метаморфизмом опал-карбонатных марганцевых руд. Приурочены они обычно к протерозойским силикатным

породам (гондитам и кодуритам), переслаивающимся с мраморами, кварцитами и сланцами. Эти породы распространены на больших площадях. Рудные залежи имеют протяженность до 3—8 км при мощности 3—60 м. Руды характеризуются полосчатой текстурой. Месторождения этого типа найдены в Индии, Южной Африке, Австралии, Бразилии.

К регионально-метаморфизованным относятся также месторождения *ураносодержащих золотоносных конгломератов*, играющие важную роль для зарубежных стран — Финляндии, ЮАР (Витватерсранд), Австралии, Канады (Блайнд-Ривер), Бразилии.

Контактово-метаморфизованные графитовые месторождения возникают в ореоле теплового воздействия интрузий, прорывающих пласты каменного угля. Графитовые залежи, развивающиеся по пластам угля, имеют форму пологопадающих линз, пластов и пластообразных тел. Они локализируются среди ороговикованных песчаников, кварцитов, графитовых сланцев и других метаморфических пород. Пласты графита нередко контактируют с магматическими образованиями, обусловившими пирометаморфизм углей (рис. 2.13). Характерные текстуры — массивные скрытокристаллические и сланцеватые.

Месторождения данного типа распространены в Восточной Сибири (Курейское и другие месторождения Тунгусской группы), на Южном Урале (Боевское, Полтавское, Брединское), а также на юге Корейского полуострова и в Мексике.

Метаморфические месторождения. Месторождения рассматриваемого класса формируются при метаморфизме горных пород, которые до преобразования практического интереса не

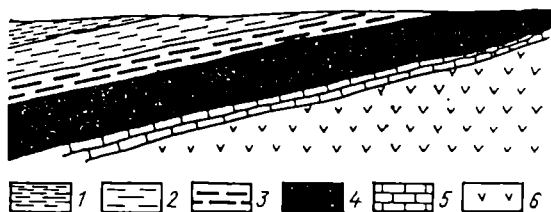


Рис. 2.13. Схематический геологический разрез Курейского месторождения графита (по С.В. Обручеву):

1 — песчаники; 2 — сланцы и кварциты; 3 — графитовые сланцы; 4 — графит, образовавшийся по пласту угля; 5 — карбонатные породы; 6 — диабазовые траппы

представляли. При этом минеральное вещество полезного ископаемого возникает вследствие собирательной кристаллизации и перегруппировки компонентов, происходящих с участием летучих соединений, но без привноса вещества из рудовмещающих толщ. К метаморфическим принадлежат почти исключительно месторождения неметаллических полезных ископаемых, образовавшиеся в основном в условиях регионального метаморфизма. Главными типами метаморфических месторождений являются дистен-силлиманитовые, графитовые, мраморов, кварцитов и кровельных сланцев.

Месторождения высокоглиноземистого сырья, или дистен-силлиманитовые, возникают при региональном метаморфизме глинистых сланцев. Они обычно приурочены к толщам докембрийских пород, сложенных кристаллическими сланцами, гнейсами и амфиболитами.

Рудные тела представляют собой отдельные горизонты сланцев и гнейсов, обогащенные дистеном или силлиманитом. Залежи прослеживаются на значительные расстояния (до нескольких километров). Руды в основном вкрапленные, реже сплошные.

Месторождения данного типа развиты на Кольском полуострове (Кейвское), в Респ. Саха (Якутия) (Чайнытское), Забайкалье (Кяхтинское, Китойское), в Индии и США (Калифорния, Вирджиния).

Месторождения графита образуются при глубоком метаморфизме глинистых пород, содержащих в рассеянном состоянии углистое вещество и битумы. Они также приурочены к древним метаморфическим толщам кристаллических сланцев, гнейсов, мраморизованных известняков и доломитов, содержащих вкрапления чешуйчатого графита. Залежи имеют форму неправильных пластов; это участки пород с повышенным содержанием графита. Районами распространения данных месторождений являются Украина (Старокрымское, Завальевское), Урал, Малый Хинган, а за рубежом они встречаются в США и на Мадагаскаре.

К типичным метаморфическим образованиям относятся также следующие месторождения: мраморов, возникших при метаморфизме известняков, кварцитов, сформировавшихся при изменении песчаников, кровельных сланцев, представляющих собой продукты метаморфизма глинистых сланцев. Следует отметить, что в большинстве случаев появление этих месторождений связано с региональным метаморфизмом, однако в некоторых случаях месторождения мраморов и кварцитов могут развиваться и в условиях термоконтakтового метаморфизма.

Месторождения мраморов имеются на Урале (Уфалейское, Коелгинское, Баландинское), Алтае (Ороктойское); Салаирском кряже (Пуштулимское), в Саянах (Кирик-Кородонское), Средней Азии (Газганское), на Кавказе.

Месторождения кварцитов более редки. Наиболее известное из них — Шокшинское в Карелии; отдельные месторождения встречаются в Донбассе, Кузбассе и на Урале.

Месторождения кровельных сланцев известны в Карелии, на Украине, Урале (Атлянское), в Западной и Восточной Сибири, Средней Азии, Забайкалье и на Кавказе (Ларское, Красная Поляна).

Типичными метаморфическими образованиями являются так называемые *альпийские жилы*, сформировавшиеся при выполнении трещин минеральным веществом, возникшим при метаморфизме. Для них типично сходство вещественного состава с составом вмещающих пород. Так, в глинисто-доломитовых породах отмечаются жилки амфибол-асбеста, а в толщах кварцитов — горного хрусталя. Названные ассоциации иногда создают промышленные месторождения.

Среди контактово-метаморфических следует назвать месторождения наждаков, слагающих неправильные линзы, гнезда среди габбро, норитов, гранитов и на контактах этих интрузивных массивов с вмещающими породами. По происхождению эти залежи полезного ископаемого являются ксенолитами высокоглиноземных осадочных пород, захваченными магмой и перекристаллизованными. Примером месторождений подобного типа является Синангойское в Хакасии.

2.7. ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Условия образования

Вулканогенно-осадочные месторождения рассматриваются авторами как переходные между эндогенными и экзогенными образованиями и отнесены к магматогенно-седиментогенной группе эндогенно-экзогенной серии. По источнику рудного вещества они являются типичными эндогенными, точнее, магматогенными, и обнаруживают непосредственную генетическую связь с процессами вулканизма. Способ же накопления мине-

рального вещества — седиментация в условиях водных бассейнов — сближает их с обычными осадочными образованиями.

Вулканогенно-осадочные месторождения формировались в разные геологические эпохи на дне геосинклинальных и платформенных морских бассейнов. Наиболее важные из них связаны с подводными извержениями базальтов ранних стадий развития геосинклиналей. Поэтому характерной особенностью вулканогенно-осадочных месторождений является локализация их в толщах, содержащих то или иное количество вулканогенного материала. Минеральное вещество месторождений поступало в бассейн седиментации из недр в виде газовых эманаций, насыщенных водных растворов и рассолов.

Осаждение минерального вещества могло осуществляться как из истинных, так и из коллоидных растворов, при этом широкое распространение имели различного рода метасоматические процессы. Наиболее древние вулканогенно-осадочные месторождения впоследствии претерпели метаморфические преобразования.

Морфология рудных залежей, обычно согласных с вмещающими породами, их текстурно-структурные особенности близки к таковым для нормально-осадочных месторождений. Следует отметить, что до настоящего времени вопрос о генезисе многих месторождений описываемой группы остается сложным и дискуссионным.

Типы месторождений

В настоящее время к числу вулканогенно-осадочных отнесены многие месторождения металлических и неметаллических полезных ископаемых. Наибольшее значение среди них имеют колчеданные месторождения меди, свинца и цинка, а также месторождения железа и марганца.

К *колчеданным* относятся месторождения, руды которых сложены сульфидами железа. В их минеральном составе преобладают пирит, пирротин, в меньших количествах присутствуют марказит, халькопирит, борнит, сфалерит, блеклые руды. Нерудные минералы, количество которых невелико, представлены баритом, кварцем, карбонатами и хлоритом. Изменение вмещающих залежи горных пород заключается в хлоритизации и происходит в лежачем боку залежей.

Характерной особенностью колчеданных месторождений является их приуроченность к поясам вулканогенно-осадочных горных пород, брахиантиклинальным структурам, разбитым

тектоническими нарушениями и трещинами, а также связь с малыми субвулканическими интрузиями основного и кислого состава. Типичные формы рудных тел — линзы, жилы, пластообразные залежи и штоки, вкрапленные и прожилковые зоны. При этом формы и внутреннее строение рудных тел зависят от степени метаморфизма вмещающих пород. В слабоизмененных породах руды обладают колломорфным строением и слагают тела изометрической формы, вытянутые штоки и пластообразные залежи. В сильнометаморфизованных породах залежам присуща уплощенная форма, а руды имеют кристаллическое строение.

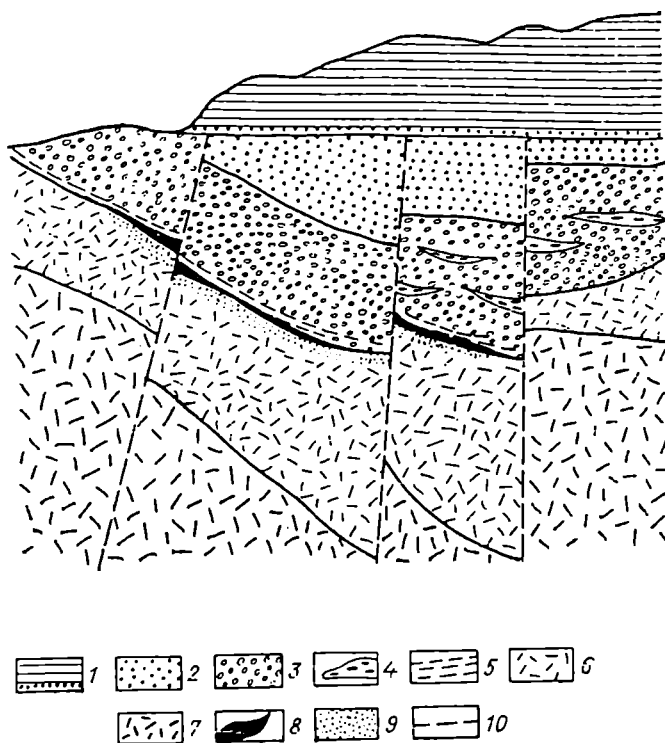


Рис. 2.14. Геологический разрез месторождения Уруп (по Н.С. Скрипченко): 1 — песчаники и сланцы; 2—3 — туфы различного состава: 2 — кислого, 3 — среднего; 4 — филлиты; 5 — кремнистые сланцы; 6 — кварцевые альбитофиры; 7 — диабазы и диабазовые порфиры; 8 — залежи массивных колчеданных руд; 9 — вкрапленная рудная минерализация; 10 — послерудные тектонические нарушения

Среди колчеданных месторождений могут быть выделены следующие типы: пиритовый (серноколчеданный), халькопирит-пиритовый (медно-колчеданный) и галенит-сфалерит-пиритовый (полиметаллически-колчеданный).

Пиритовые месторождения служат источником сырья для производства серной кислоты. Руды почти полностью состоят из пирита с небольшой примесью кварца. Месторождения этого типа известны на Урале (Карабашское), в Закавказье (Чирагидзор, Тандзут), в Испании и Японии.

Халькопирит-пиритовые месторождения (уральский тип) обычно приурочены к осадочно-вулканогенным толщам базальтоидных формаций или к кремнисто-терригенным образованиям. Рудные тела залегают в вулканических брекчиях и туфах, при этом размещение месторождений часто контролируется локальными вулканическими структурами. Тела имеют форму согласных пластовых залежей и линз (рис. 2.14), а также сопряженных с ними штоков, штокверков и жил. Протяженность рудных тел — первые километры при мощности, составляющей десятки метров.

По текстурно-структурным особенностям различают массивные, слоистые и прожилково-вкрапленные руды. В их составе преобладают сульфиды железа (пирит, мельниковит, марказит) и халькопирит; второстепенные рудные минералы представлены сфалеритом, пирротином, блеклыми рудами, галенитом и др. По химическому составу руды являются комплексными и могут содержать в промышленно извлекаемых количествах свинец, цинк, серу, селен, теллур, серебро, золото, кадмий, индий, таллий, галлий.

Процесс формирования месторождений обычно протекает в несколько этапов. Рудные тела часто обладают зональным строением, выражающимся в смене пиритовых руд пирит-халькопиритовыми от лежачего бока залежи к висячему.

Месторождения данного типа распространены на Урале (Сибай, Гайское, Блявинское, Учалы), Кавказе (Уруп, Кафан, Шамлуг, Алаверды), в Югославии (Бор), Норвегии (Леккон), Швеции (Болиден), Турции (Эргани), США (Юнайтед-Верде), Канаде (Кидд-Крик).

Галенит-сфалерит-пиритовые месторождения (алтайский тип) пространственно и генетически связаны с кислыми производными базальтоидного вулканизма и приурочены к вулканокупольным и жерловым структурам, вулканотектоническим и

межвулканическим депрессиям, зонам трещиноватости и разломам.

Рудные тела имеют форму согласных пласто- и линзообразных залежей, нижние границы которых часто осложнены крутопадающими апофизами и штокерковыми зонами (рис. 2.15). Размеры их достигают 1—2 км (обычно сотни метров) по простиранию, 500—600 м по падению при мощности от нескольких метров до 15—20 м (иногда до 50 м).

Главными рудными минералами являются пирит, сфалерит, галенит, реже халькопирит, среди жильных преобладают кварц и барит. Так же, как и на месторождениях предыдущего типа, процесс минералообразования был сложным; здесь также проявлена хорошо выраженная зональность.

В СНГ месторождения описываемого типа развиты в Прибайкалье (Холодинское), Забайкалье (Озерное), на Алтае (Зыряновское, Риддер-Сокольное, Тишинское, Белоусовское), в Казахстане (Жайрем, Текели), на Кавказе (Филизчай, Маднеули), а за рубежом — в Германии (Раммельсберг), Испании (Рио-Тинто), Норвегии, Швеции (Фалун), Мьянме, Японии, Австралии, США, на Кубе (Санга-Люсия).

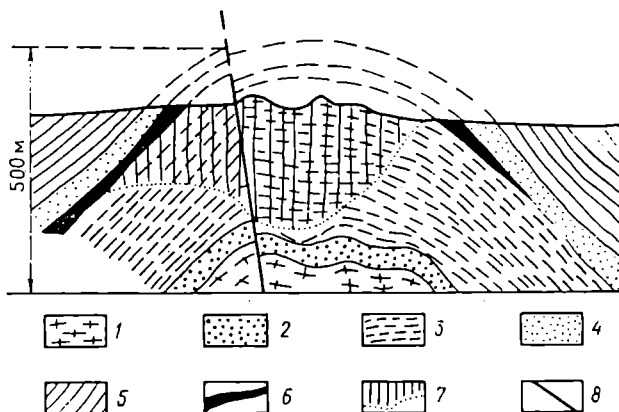


Рис. 2.15. Схематический геологический разрез колчеданно-полиметаллического месторождения Рио-Тинто (по В.И. Смирнову):

1 — лавы основного состава; 2 — переходный слой с конгломератами; 3—4 — породы кислого состава; 3 — лавы, 4 — туфы; 5 — граувакко-сланцевые породы; 6 — массивная колчеданная руда; 7 — рудный штокерк; 8 — послерудный сброс

Магнетит-гематитовые месторождения обычно располагаются в синклинальных зонах эвгеосинклинальных областей. Рудные тела в виде пластов и линз залегают среди туфов, туф-фитов, карбонатных и кремнисто-карбонатных пород. Они часто сложно дислоцированы вместе с вмещающими породами. Руды сложены гематитом, в меньшей степени магнетитом и сидеритом. К месторождениям этого типа относятся Западный Каражал в Казахстане, Холзунское на Алтае, Лан и Дилль в Германии и некоторые месторождения Алжира.

Браунит-гаусманит-псиломелановые месторождения также приурочены к областям интенсивного проявления подводного вулканизма и обычно локализуются в кремнистых, железистых и карбонатных породах как вблизи очагов вулканической деятельности, так и на некотором удалении от них. Кроме браунита и гаусманита в зонах выветривания широко развит псиломелан. Подобные месторождения известны в Казахстане (Атасуйская группа, Джезды), на Алтае, Южном Урале, в Кузнецком Алатау (Мазульское, Дурновское), Хабаровском крае.

2.8. ГИДРОТЕРМАЛЬНО-ОСАДОЧНЫЕ (СТРАТИФОРМНЫЕ) МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Условия образования

К этой группе отнесены месторождения, имеющие, возможно, гидротермально-осадочное происхождение, но названные нейтральным термином — стратиформные (по пластовой форме залегания) — вследствие невыясненности их генезиса. Существует несколько гипотез образования рассматриваемых месторождений.

Некоторые геологи рассматривают эти месторождения как первично-осадочные сингенетические, претерпевшие некоторые изменения на последующих стадиях. Существует также представление и о гидротермальном эпигенетическом формировании месторождений и связи их с залегающими на глубине и не вскрытыми эрозией массивами изверженных горных пород.

Более предпочтительна гипотеза о полигенном происхождении описываемых месторождений в течение длительного периода. В пользу этой гипотезы говорит то, что месторождения

данного класса находятся на площадях развития осадочных толщ, где отсутствуют массивы изверженных пород, которые могли бы служить источником гидротермальных минерализованных растворов. В основу последней гипотезы положены данные о длительном развитии многих стратиформных месторождений, несущих черты как сингенетического осадочного, так и эпигенного образования. Предполагают, что формирование начинается с накопления сингенетических вулканогенно-осадочных руд, прошедших стадию диагенеза. После того, как залежи были перекрыты более молодыми осадками, рудообразование шло за счет деятельности подземных горячих минерализованных вод, при воздействии которых происходила перегруппировка минеральной массы и создавалось эпигенетическое оруденение.

Типы месторождений

К классу стратиформных относятся месторождения следующих типов: борнит-халькопиритовые (меднорудные) в пластах песчаников и сланцев, галенит-сфалеритовые (свинцово-цинковые) в карбонатных породах; киноварь-антимонитовые (сурьмяно-ртутные).

Борнит-халькопиритовые стратиформные месторождения медистых песчаников и сланцев приурочены к депрессиям, которые выполнены ритмично переслаивающимися песчаниками, сланцами и доломитами с повышенным содержанием органичес-

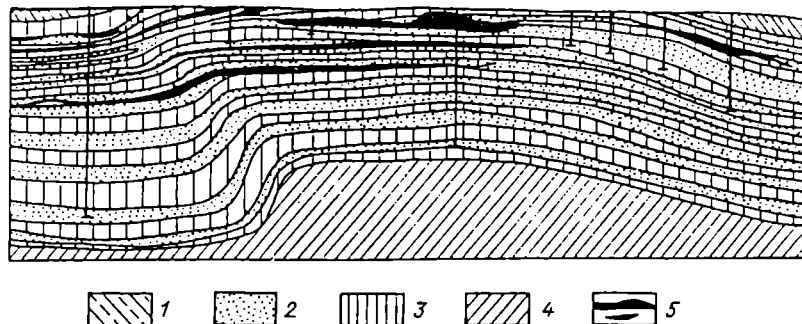


Рис. 2.16. Геологический разрез месторождения Дзержкаган (по К.И. Сатпаеву):

1 — красноцветная толща нижней перми; 2—4 — каменноугольные образования: 2 — рудоносные серые песчаники, 3 — безрудные красноцветные песчаники и аргиллиты, 4 — песчаники и известняки; 5 — рудные тела

кого углерода. Рудные тела представлены согласными пластовыми, линзовидными и лентообразными пологими залежами (рис. 2.16). Мощность их изменяется от десятков сантиметров до первых десятков метров. Выдержанные по мощности залежи прослеживаются на многие километры по простиранию и на первые километры по падению. Характерны также многоярусные залежи, которые постепенными переходами связаны с безрудными породами. Иногда встречаются секущие рудные жилы и зоны дробления.

Руды стратиформных месторождений имеют относительно простой минеральный состав. Главными минералами являются халькозин, борнит, халькопирит, пирит, второстепенными — блеклые руды, ковеллин, галенит, сфалерит, жильными — кварц, кальцит, барит. В рудных телах нередко проявлена зональность размещения минеральных ассоциаций, обусловленная характером накопления осадков и особенностями процессов рудообразования.

Месторождения этого типа развиты в Казахстане (Джезказган), Прибайкалье (Удокан), в Германии (Мансфельд), Польше (Предсудетское), Афганистане (Айнак), Замбии (Роан-Антилоп, Чамбиши, Нчанга), Конго (Камото, Мусоши), США, Мексике.

Галенит-сфалеритовые месторождения локализуются в мощных толщах карбонатных пород — доломитов, известняков. Рудоносные карбонатные формации распространяются на десятки-сотни километров. Для месторождений характерны четкий стратиграфический и литологический контроль, отсутствие магматических комплексов, с которыми могло бы быть связано оруденение, согласные пластовые и линзовидные залежи многоярусного строения; секущие жилы и трубообразные тела встречаются редко. Протяженность залежей по простиранию колеблется от сотен метров до первых километров, по падению достигает 800—1000 м при мощности от 0,5 до 200 м (средняя 10—20 м).

Рудам свойствен простой минеральный состав. Главные минералы — сфалерит, галенит, пирит, кальцит, доломит, реже барит; второстепенные — марказит, халькопирит, борнит, сульфосоли свинца, кварц, флюорит. Текстуры руд — полосчатые, прожилковые и послойные вкрапленные, структуры — мелкозернистые. Ценными компонентами руд кроме свинца и цинка являются медь, серебро, кадмий.

К этому типу относятся месторождения Казахстана (Миргалымсай, Шалгия), Средней Азии (Уч-Кулач, Сумсар, Джергелан). Они распространены также в Польше (Олькуш, Болеслав), Болгарии, Франции, Италии, Испании, Иране (Ангуран), Марокко, Алжире, Тунисе, США (Миссисипи-Миссури), Канаде (Пайн-Пойнт).

Киноварь-антимонитовые месторождения находятся в областях стабилизации геосинклиналей или в зонах активизации платформ. Для них не выявлена непосредственная связь с магматическими породами, в связи с чем подобные месторождения называются амагматогенными. Залегают они среди терригенных и карбонатных комплексов, осложненных куполовидными и сундучными складками, а также разрывными нарушениями (рис. 2.17). Рудные тела представлены пластообразными залежами и линзами, нередко сопряженными с рудными жилами и штокверками.

Главные рудные минералы — киноварь, антимонит, второстепенные — реальгар, аурипигмент, пирит, халькопирит, марказит, блеклые руды. К основным жильным минералам принадлежат кварц, кальцит, флюорит и барит.

Месторождения этого типа распространены в Средней Азии (Кадамджай, Хайдаркан, Чаувай), на Украине (Никитовка),



Рис. 2.17. Геологический разрез месторождения Кадамджай (по Н. А. Никифорову):

1 — песчано-сланцевые отложения; 2 — глинистые сланцы в прослоях гравелитов; 3 — массивные известняки; 4 — надвиги; 5 — прочие разломы; 6 — роговниково-джасперонидные брекчии с оруденением

в Болгарии (Рыбново), Италии, Испании (Альмаден), КНР (Синьхуаньшань, Ваньшань), Перу.

2.9. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВЫВЕТРИВАНИЯ

Условия образования

Месторождения выветривания образуются в результате воздействия на минералы и горные породы атмосферы, поверхностных и подземных вод, органических агентов. Под их влиянием породы и минералы разрушаются механически на отдельные составные части, затем перерабатываются химическими процессами. Ранее существовавшие минералы сменяются новыми, устойчивыми в экзогенных условиях. Процессы эти, как известно, называются выветриванием. Их результатом является формирование коры выветривания и связанных с ней месторождений выветривания.

Кора выветривания — это самостоятельная континентальная геологическая формация, возникающая при воздействии атмосферных и биогенных агентов на коренные породы, выведенные на дневную поверхность, и представленная продуктами механического, химического и биохимического разрушения этих горных пород. Кора выветривания служит мощным источником минеральной массы для всех экзогенных месторождений.

Формирование месторождений выветривания обусловлено перегруппировкой массы глубинных горных пород, химически неустойчивых в термодинамических условиях приповерхностной части земной коры. Кора выветривания распространяется в глубь Земли до уровня грунтовых вод, т.е. обычно на 60—100 м от поверхности и редко до 200 м. К основным агрегатам выветривания относятся вода, кислород, углекислота, организмы, колебания температуры.

При разложении коренных пород в коре выветривания важную роль играют реакции окисления, гидратации, гидролиза и, частично, диализа. Геохимические преобразования в коре выветривания характеризуются стадийностью. В начальной стадии выветривание протекает в условиях щелочной среды, когда из породы выносятся легкорастворимые соли (сульфаты, хлориды и карбонаты калия, натрия, кальция и магния, кремнезем). Одновременно происходит гидролиз силикатов с накопле-

нием алюминия, железа и марганца. Скорость разложения минералов различна и зависит от их состава и кристаллической структуры.

При разложении легче удаляются неметаллические элементы, тогда как металлы накапливаются в коре выветривания. К энергично выносимым элементам относятся хлор, бром и сера, к легко выносимым — кальций, натрий, калий и фтор, к подвижным — кремнезем, фосфор, марганец, кобальт, никель и медь, а к инертным — железо, алюминий и титан.

В результате разложения коренных пород и избирательной миграции элементов возникает кора выветривания разного состава (или разного профиля выветривания) с характерными месторождениями полезных ископаемых. Профиль коры выветривания определяется по степени разложения породообразующих силикатов, выражаемой соотношением кремния и алюминия в ее минеральной массе.

Различают три профиля коры выветривания. Насыщенный сиалитный (гидрослюдистый) профиль характеризуется изменением силикатов в реакциях гидратации и гидролиза без существенного выноса кремнезема. Типоморфные минералы данного профиля — гидрослюда, гидрохлорид, бейделлит, монтмориллонит. Для формирования полезных ископаемых этот тип несуществен. Ненасыщенный сиалитный (глинистый) профиль отличается выносом кремнезема. С этим профилем коры выветривания, типоморфными минералами которого являются каолинит, галлуазит, нонтронит и кварц, ассоциируют месторождения глин и каолина. Для алитного (латеритного) профиля типично полное нарушение связей между глиноземом и кремнеземом и их интенсивная миграция. Типоморфные минералы — гидроксиды алюминия, оксиды и гидроксиды железа. С последним профилем связаны все основные месторождения выветривания.

Среди минералов, слагающих кору выветривания, выделяются реликтовые первичные минералы коренных пород (кварц, рутил, магнетит), минералы начальной стадии разложения (гидрослюды, гидрохлориты), аморфные минералы, превращающиеся затем в кристаллические аналоги, а также вторичные минералы, представляющие собой конечные продукты выветривания (гидроксиды железа, алюминия, марганца, халцедон, опал).

Для образования коры выветривания и связанных с ней месторождений полезных ископаемых, важное значение имеют

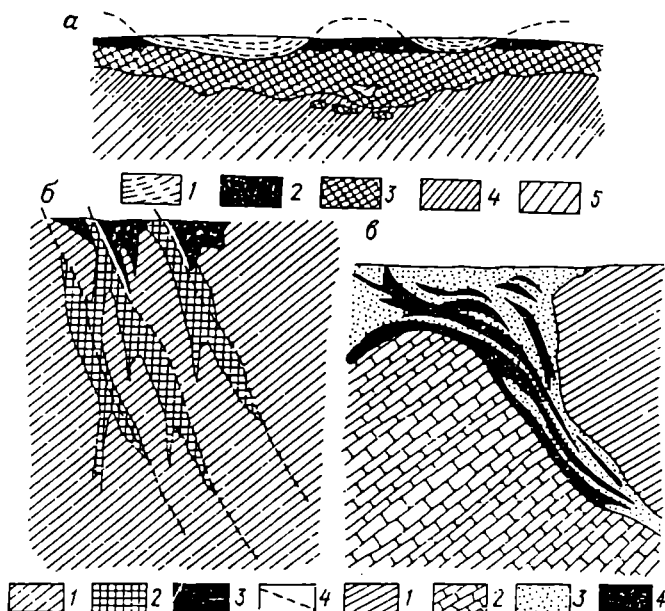


Рис. 2.18. Типы месторождений коры выветривания:

а — площадной: 1 — покровные отложения; 2 — охристо-глинистые породы; 3—4 — серпентинит со скоплениями минералов никеля: 3 — нонтронитизированный, 4 — разложившийся; 5 — неразложившийся серпентинит;

б — линейный: 1—2 — серпентинит: 1 — неразложившийся, 2 — выветривший разложивший со скоплениями минералов никеля; 3 — охристо-глинистые породы; 4 — зона трещиноватости;

в — приконтактный (карстовый): 1 — серпентинит; 2 — известняк; 3 — карстовые отложения; 4 — руда

следующие факторы: климат, состав, структура и возраст коренных пород, тектоническая нарушенность массива, рельеф местности, гидрогеологические условия, длительность процесса формирования коры.

По форме и условиям нахождения тел полезных ископаемых различают месторождения площадной, линейной и приконтактной коры выветривания (рис. 2.18). Месторождения площадной коры выветривания плащом перекрывают коренные породы. Нижняя их граница сложная, неровная, размеры в поперечнике от десятков до тысяч метров, мощность — до первых десятков метров. Месторождения линейной коры выветри-

вания имеют форму жилообразных тел, которые развиваются по системе трещин до глубины 100—200 м. Приконтактовые месторождения выветривания размещены вдоль контакта растворимых пород (например, карбонатных) и пород, поставляющих минеральное вещество при разложении.

Типы месторождений

В зависимости от способа накопления вещества полезного ископаемого месторождения выветривания делятся на остаточные и инфильтрационные. Первые формируются вследствие растворения и выноса грунтовыми водами минеральной массы горных пород, не имеющих ценности, и накопления в остатке вещества полезного ископаемого. Инфильтрационные месторождения возникают при растворении грунтовыми водами ценных компонентов, их фильтрации и перееотложении вещества в нижней части коры выветривания.

Остаточные месторождения. Месторождения выветривания этого подкласса располагаются на породах, за счет которых они сформировались. Минеральный состав образующихся масс (элювия) находится в прямой зависимости от состава материнских пород и характера реакций химического выветривания. Наиболее широко распространены в земной коре силикатные породы (магматические и метаморфические). В зоне выветривания происходит их разложение — гидролиз. При этом щелочные и щелочноземельные элементы переходят в истинные растворы, образуют с углекислотой бикарбонаты и переносятся вниз, в область грунтовых вод, или уносятся поверхностными проточными водами. В состав минерального остатка, первоначально представленного в основном коллоидными растворами, входят кремнезем, глинозем, оксиды железа и марганца.

Форма тел остаточных месторождений выветривания преимущественно неправильная пластообразная с очень неровной нижней границей, что связано с неравномерным развитием процессов выветривания. Менее характерны гнезда и штоки.

Промышленное значение остаточных месторождений особенно велико для каолина, почти целиком добываемого из месторождений этого типа, а также для никеля и кобальта; меньшую роль играют остаточные месторождения железных и марганцевых руд, бокситов, талька и фосфоритов.

Каолиновые месторождения формируются в коре выветривания любых полевошпатовых пород, но чаще — кислых и ще-

лочных. Как правило, это залежи площадного типа, представленные неправильной формы покровами мощностью около 10 м (редко больше), на глубине переходящими в материнские породы. В их минеральный состав входят каолинит, галлуазит, монтмориллонит, халцедон, а также реликтовые (кварц, мусковит, рутил) и вторичные (кальцит, доломит, гипс) минералы.

Месторождения каолинов распространены на Украине (Глуховецкое), Урале, Алтае, в Западной Сибири; крупные месторождения известны в Германии, Чехии, Великобритании, Франции, КНР.

Гарниерит-нонтронитовые месторождения силикатных никелевых руд (с кобальтом) связаны с корой выветривания серпентинитов, образовавшихся по дунитам и перидотитам. На ранних стадиях разложения никельсодержащих минералов никель переходит в раствор, переносится из верхней части в глубь коры выветривания, где вновь отлагается в виде вторичных минералов. При этом никель отделяется от железа в связи с легкой окисляемостью последнего и выпадением его в осадок при малых значениях рН. Он отделяется также от марганца и кобальта, которые окисляются позднее железа, но раньше никеля. Иногда никель концентрируется в гидроксидах железа. Кальций и магний также мигрируют в коре выветривания, но отлагаются ниже никеля и при больших значениях рН.

В результате процессов выветривания возникает вертикальная зональность размещения совместно мигрирующих элементов. При этом содержание никеля возрастает в 5—15 раз по сравнению с таковым в первичной породе.

В строении коры выветривания остаточных месторождений силикатных никелевых руд выделяются три зоны (сверху вниз): 1) железистых охр (мощность 5—10 м), не содержащая промышленных концентратов никеля; 2) нонтронитовая (5—15 м) с промышленным содержанием никеля и кобальта; 3) полуразрушенного и выщелоченного серпентинита (5—25 м), обогащенная вторичными никелевыми минералами.

По структурно-морфологическим особенностям месторождения могут относиться как к площадным, так и к линейным корам выветривания.

Месторождения рассматриваемого типа известны на Южном Урале (Кемпирсайское, Сахаринское, Верхнеуфалейское, Халиловское), а также в Албании, Индонезии, Австралии, на Кубе, в Бразилии и на о. Новая Каледония.

Бокситовые месторождения формируются при разложении различных глиноземсодержащих пород — щелочных, кислых, основных. Процесс изменения первичных пород протекает в три стадии: 1) разложение силикатов, вынос щелочных и щелочноземельных элементов, частичный вынос кремнезема с накоплением минералов глинистого состава; 2) десиликация с накоплением глинозема; 3) усложнение состава бокситов, вследствие выделения карбонатов, сульфидов и других соединений.

Среди остаточных месторождений по условиям образования различают бокситы площадные и карстовые. В минеральный состав бокситов входят моно- и тригидраты глинозема, которые ассоциируют с глинистыми минералами, гидроксидами железа и марганца, кремнистыми соединениями.

Остаточные месторождения бокситов распространены в районе КМА (Висловское), на Енисейском Кряже, в Испании, Франции, Греции, Индии, Гвинее, Бразилии, Гвиане, Гайане, Суринаме.

Лимонитовые месторождения возникают при выветривании серпентинитов. Руды обычно содержат небольшие концентрации легирующих металлов и поэтому называются природно-легированными. Среди них выделяются разновидности, связанные взаимными переходами: железные руды, легированные никелем и кобальтом; комплексные железо-никелевые; комплексные железо-кобальтовые; комплексные железо-марганец-никелевые.

Остаточные месторождения природно-легированных лимонитовых руд известны на Урале (Елизаветинское, Стрижевское, Аккермановское и др.), Северном Кавказе (Малкинское), в Индонезии, Гвинее, на Кубе, Филиппинах, в Гвиане и Суринаме.

Пиролюзит-псиломелановые (марганцеворудные) месторождения образуются при выветривании марганецсодержащих метаморфизованных пород. Они развиты на Урале (Полуночное), в Западной Сибири (Мазульское), в Индии, Гане, Габоне, ЮАР, Австрии, Канаде, на Кубе, в Бразилии и Венесуэле.

Инфильтрационные месторождения. К инфильтрационным относятся месторождения, образующиеся за счет той части продуктов выветривания, которые в растворенном состоянии поступают в область циркуляции грунтовых вод, где при благоприятных условиях выпадают в осадок. Отложение мине-

рального вещества происходит путем заполнения пустот или метасоматическим способом.

В первом случае выделение полезного ископаемого идет из относительно холодных водных растворов, примерно по тем же причинам, по которым «сбрасывают» свой полезный груз гидротермальные растворы. Во втором случае водные растворы, встречая активные, легко поддающиеся растворению породы, выщелачивают некоторые компоненты вмещающих пород и вместо них отлагают другие, ранее содержавшиеся в растворе компоненты. Соответственно, минералы боковых пород метасоматически замещаются новыми, перенесенными в растворенном виде. Так возникает ряд месторождений полезных ископаемых: железа, марганца, меди, ванадия, урана, радия, фосфоритов, гипса, боратов, магнезита, исландского шпата.

Сидерит-лимонитовые месторождения железа достаточно часто образуются в коре выветривания фильтрационным способом. Железо содержится в тех или иных количествах во всех горных породах. При химическом выветривании оно переходит в раствор, обычно в коллоидном состоянии, реже в состоянии истинного раствора карбонатных или сульфатных солей. Коллоидные железосодержащие растворы без химического воздействия отлагают в пустотах среди карбонатных пород гель гидроксида железа, переходящий затем в лимонит. Растворы карбонатов или сульфатов железа реагируют с карбонатными породами. В результате обменных реакций известняк метасоматически замещается сидеритом, который, окисляясь, сменяется лимонитом.

Руды в месторождениях рассматриваемого типа сложены сидеритом, лимонитом, гематитом. Характерные текстуры руд — обломочные, конгломератовые, желваковые. Наиболее широко распространенными формами рудных тел являются гнезда, линзы и пластообразные залежи, размещенные в выветренных кремнистых породах и известняках. Месторождения данного типа расположены на Урале (Алапаевское и Синаро-Каменская группа); подобные месторождения имеются в Великобритании, Германии (Зальцгиттер, Пейне-Илседе).

Промышленное значение этих месторождений ограничено.

Инфильтрационные месторождения урана возникают в связи с деятельностью подземных вод глубокой циркуляции. Источником урана являются горные породы, содержащие повы-

шенные концентрации этого элемента, входящего в состав аксессуарных минералов. В результате их разложения при процессах выветривания уран переходит в растворы и переносится грунтовыми водами в виде соединений уранила.

Выделение урана из растворов в виде настурана и урановых черной обусловлено действием различных восстановителей — углистого вещества, битумов, сероводорода и др. Промышленное значение месторождений этого типа достаточно велико. Они известны во Франции, Великобритании, Италии, Венгрии, Румынии, Германии, Австрии, Индии, США и Канаде.

Изменения месторождений полезных ископаемых при выветривании

При химическом и физическом выветривании тела полезных ископаемых претерпевают существенные изменения минерального, химического состава и строения. Наибольшие преобразования происходят при выветривании сульфидных рудных тел, пластов углей, залежей минеральных солей и серы.

Приповерхностные изменения тел полезных ископаемых обусловлены неустойчивостью минералов в коре выветривания в обстановке высокого кислородного потенциала. В результате

разложения первичных минералов возникают новые соединения. Одни из них сохраняются на месте, другие выносятся и переотлагаются, третьи — мигрируют и рассеиваются. Основным направлением изменений является окисление вещества полезного ископаемого. Интер-

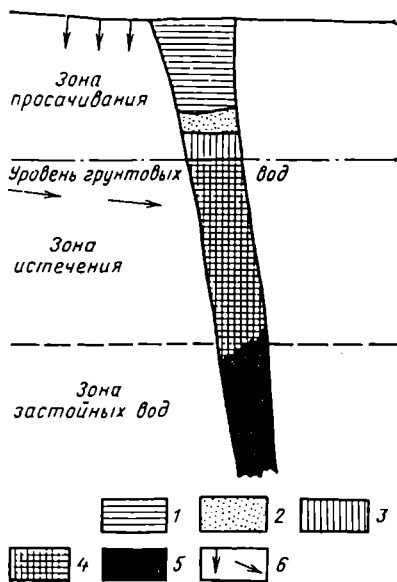


Рис. 2.19. Строение зоны окисления сульфидного месторождения (по С.С. Смирнову):

1—3 — зона окисления, подзоны: 1 — полного окисления (шляпа), 2 — выщелачивания (сыпучка), 3 — оксидного обогащения; 4 — зона вторичного сульфидного обогащения; 5 — первичные руды; 6 — направление движения вод

вал изменений рудных тел по вертикали называется *зоной окисления*.

Основными агентами преобразований являются вода, кислород, углекислота, органические вещества. Особенно значительна роль подземных вод. Область циркуляции приповерхностных вод разделяется на три зоны (рис. 2.19). Верхняя зона аэрации, или просачивания, характеризуется быстрой и свободной, преимущественно нисходящей циркуляцией воды, насыщенной растворенными в ней кислородом и углекислотой. Под уровнем грунтовых вод располагается зона истечения, или активного водообмена, с медленным боковым движением воды, несущей незначительное количество растворенного в ней кислорода. Зона застойных вод не содержит свободного кислорода.

В зоне просачивания формируется зона окисления руд, представленная четырьмя подзонами. Поверхностный слой представляет собой наиболее измененную часть рудного тела, из которой могут быть удалены даже самые трудноподвижные соединения. В этой подзоне окисленных руд распространены типичные оксидные производные первичной руды. Подзона окисленных выщелоченных руд характеризуется пониженными содержаниями металлов по сравнению с их средними содержаниями в зоне окисления. Ниже располагается подзона богатых окисленных руд.

Обычно мощность зоны окисления колеблется от единиц до десятков метров, иногда достигает нескольких сотен метров. Развитие этой зоны (ее мощность и интенсивность процессов изменения) зависит от климата (температуры и количества осадков), рельефа и степени эрозии района, состава руд и их структурно-текстурных особенностей, физических и химических свойств вмещающих пород, условий залегания рудных тел. При этом благоприятными факторами являются теплый влажный климат, умеренно расчлененный рельеф, полиминеральный состав руд, наличие пирита, неплотные текстуры, разнотекстурные структуры, равномерная водопроницаемость пород, их химическая активность, наклонное залегание рудных тел на контакте разных по составу и свойствам пород, интенсивная тектоническая нарушенность.

Появление зоны вторичного обогащения, или цементации, обусловлено переотложением части металлов, выщелоченных из зоны окисления. Наиболее богаты вторичными сульфидами верхние горизонты этой зоны. По мере углубления их количество уменьшается и руды переходят в первичные. Мощность

зоны вторичного сульфидного обогащения варьирует от нескольких метров до десятков и даже первых сотен метров.

Развитие данной зоны зависит от ряда факторов. К благоприятным относятся теплый, умеренно влажный климат, умеренно расчлененный рельеф, интенсивная трещиноватость руд и боковых пород, отсутствие среди последних и в рудном теле карбонатов, которые могут реагировать с рудоносными растворами еще в зоне окисления, пирит-халькопиритовый состав первичных руд.

В зоне окисления сульфидных месторождений осуществляются процессы, приводящие к полному удалению серы и рассеянию других элементов. В результате данная зона окончательно освобождается от тяжелых металлов, становится довольно однообразной по минеральному составу: наблюдаются лишь различные формы кремнезема, оксиды и гидроксиды железа и марганца, алюмокремниевые соединения. При процессах окисления происходит разделение металлов. Так, металлы, входящие в состав труднорастворимых сульфидов, дольше задерживаются в зоне окисления, чем те, которые образуют легкорастворимые сульфаты. Основные закономерности поведения различных металлов в зоне окисления заключаются в следующем.

Железо. Пирит, окисляясь, переходит в сульфат железа II, который в присутствии свободного кислорода превращается в сульфат железа III. При гидролизе последнего возникает труднорастворимый гидроксид железа, выпадающий из раствора в виде геля лимонита. В целом зона окисления интенсивно обогащается гидроксидами железа, поэтому ее часто называют «железной шляпой».

Медь. При окислении сульфидов меди (например, халькопирита) появляется легкорастворимый сульфат, который выносятся из зоны окисления; медь выделяется в зоне вторичного обогащения, поэтому зона окисления резко обделена ею.

Свинец. Окисление галенита приводит к образованию труднорастворимого сульфата — англезита, накапливающегося в зоне окисления, а в дальнейшем переходящего в труднорастворимый карбонат (церрусит). Нередко в зоне окисления сохраняется и первичный галенит.

Цинк. При окислении сфалерита возникает легкорастворимый сульфат, который не отлагается в зоне цементации, а рассеивается за пределами месторождений. Цинк концентрируется только в случае развития карбоната (смитсонита) или силиката (каламина).

Следовательно, при выветривании полиметаллических рудных тел происходит резкое обеднение зоны окисления цинком и обогащение свинцом.

Золото. Мигрирует в зоне окисления на значительное расстояние во взвешенном или растворенном состоянии. Осаждается оно в верхней части зоны цементации.

Серебро. Поведение серебра в зоне окисления различается в зависимости от форм его нахождения в первичных рудах. Самородное серебро обычно накапливается в данной зоне, а серебро, содержащееся в сульфидах, переходит в раствор. Если в дальнейшем серебро входит в состав галогенов, то оно накапливается в зоне окисления, в других случаях серебро концентрируется в зоне цементации.

Другие элементы — мышьяк, сурьма, висмут, молибден, ртуть, никель, кобальт, находящиеся в рудах в виде сульфидов, в зоне окисления переходят в оксиды, гидроксиды, карбонаты. В таком виде они либо накапливаются в зоне окисления, либо выносятся за пределы месторождения и рассеиваются во вмещающих породах.

Интенсивное развитие зоны окисления наблюдается на многих сульфидных месторождениях: Кадаинском, Коунрад, Кальмакыр, Турланском, Блявинском, Дегтярском и др.

Другие (несульфидные) месторождения полезных ископаемых по степени устойчивости в зоне выветривания делятся на три группы: не изменяющиеся, слабо изменяющиеся, изменяющиеся. К первой группе относятся месторождения горного хрусталя, драгоценных камней, алмазов, гранатов, корунда, алунита, диатомита, трепела, песков, гравия, песчаников, кварцитов. Слабо изменяются месторождения пегматитов, карбонатитов, асбеста, ряда карбонатных и силикатных пород, глин, изверженных и метаморфических пород.

В третью группу входят месторождения серы, минеральных солей, гипса, ангидрита, углей. Сера в зоне выветривания окисляется с образованием сульфатов типа алунитов, ярозита, гипса, слагающих «серную шляпу». Дальнейшее окисление приводит к разрушению этих минералов.

Минеральные соли подвергаются интенсивному выщелачиванию, при этом развивается соляной карст. В верхней части соляных тел формируются «соляные шляпы» различного состава. Гипс и ангидрит легко растворяются и переносятся, в результате возникают вторичные землистые гипсосодержащие массы.

В зоне выветривания существенно изменяются все разновидности углей. Возрастает их влажность (почти в 20 раз), содержание летучих компонентов (в 4—5 раз), зольность (в 12 раз), и плотность (в 1,5 раза). Одновременно уменьшается выход кокса (в 4—5 раз), содержание углерода и водорода, резко падает сернистость угля в связи с разложением пирита.

2.10. ОСАДОЧНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Условия образования

Осадочные месторождения возникают в процессе осадконакопления на дне водоемов. По месту образования они разделяются на речные, болотные, озерные и морские. Среди последних в свою очередь различают платформенные и геосинклинальные. Процесс формирования осадочных горных пород и связанных с ними полезных ископаемых протекает в три стадии — седиментогенеза, диа- и катагенеза.

Стадия седиментогенеза включает этапы мобилизации вещества в коре выветривания, переноса осадков и осадкообразования в конечном водоеме. Мобилизация вещества осуществляется в процессе механической и химической дифференциации. Формы переноса его с водосборной площади могут быть различными — в виде истинных или коллоидных растворов, механической взвеси и путем волочения по дну. При этом растворимые соединения практически полностью выносятся в водоем, а обломочные продукты — частично.

Осадкообразование в водоемах происходит вследствие процессов механической, химической и биохимической дифференциации вещества. При механической дифференциации обломочный материал разделяется (сортируется) по плотности, размерам и форме минеральных частиц. В прибрежной зоне накапливаются галечник, гравий, песок. В следующей зоне осаждаются алевриты, а еще дальше, во внутренней части водоемов — глины. При равной величине обломков они разделяются по плотности — наиболее далеко от берега уносятся минералы с наименьшей плотностью.

Химическая дифференциация осадков представляет собой процесс последовательного отложения веществ, переносимых в виде истинных или коллоидных растворов, а также в виде тончайших механических взвесей. Согласно схеме химической дифференциации, вначале отлагаются наиболее труднораствори-

мые вещества. Оксиды железа и марганца, кремнезем, фосфаты, силикаты железа, бокситы, соли и кальцит выпадают последовательно из пресных, солоноватых или с нормальной соленостью вод; параллельно с ними отлагаются продукты механической дифференциации. Начало осаждения кальция примерно совпадает с окончанием процесса механической дифференциации. Начиная с отложения доломита, к продуктам химической дифференциации почти не примешивается обломочный материал, и для выпадения веществ требуются повышенные концентрации солей в растворах.

Основной причиной химической дифференциации считают различную концентрацию водородных ионов (рН) в водах бассейна и различный окислительно-восстановительный потенциал (Еh), определяемый содержанием растворенного в воде кислорода. Так, снижение рН от речных вод к береговым морским, а далее морским придонным фиксируется в осадках последовательным осаждением гидроксидов металлов, а затем их оксидов.

Биохимическая дифференциация происходит вследствие выборочного усвоения животными и растительными организмами некоторых элементов и накопления их после отмирания этих организмов. Так формируется значительная масса органических веществ, входящих в состав каустобиолитов, а также карбонаты, фосфаты, кремнезем. С жизнедеятельностью организмов и их отмиранием связано также частичное накопление железа, марганца, глинозема и таких микроэлементов, как ванадий, хром, никель, кобальт, медь.

В стадию диагенеза осуществляется превращение сильно увлажненного, насыщенного бактериями и малыми компонентами ила в уплотненную породу. Этот процесс протекает на глубине от первых десятков до первых сотен метров под толщей осадков. На первом этапе диагенеза идет окислительное минералообразование, и за счет кислорода иловых вод возникают конкреции гидроксидов железа и марганца.

На втором этапе среда осадка из окислительной становится восстановительной. Вода, пропитывающая осадок, лишается сульфатов, обогащается оксидами железа II, марганца, кремнеземом, органическим веществом, фосфором, малыми элементами. Так формируются диагенетические залежи сидерита, железистых хлоритов, конвекционные родохрозитовые и родонитовые руды марганца, желваковые фосфориты, осадочные вкрапленные руды меди, свинца и цинка.

На последнем этапе диагенеза происходит внутреннее перераспределение аутигенного (образовавшегося на месте нахождения, т.е. собственно осадочного) материала, стяжение его вокруг некоторых точек с развитием конкреций. В результате перераспределения вещества при диагенезе в локальных скоплениях осадков возрастает концентрация некоторых элементов. Например, концентрация марганца может возрасти почти в 7 раз.

Дальнейшее преобразование осадков в стадию катагенеза связано с их погружением на глубину, возрастанием давления и температуры. При этом осуществляется окончательное окаменение (литификация) пород при незначительных изменениях минерального состава. Поры пород заполняются гипсом, ангидритом, флюоритом. Частичное переотложение вещества отмечается в межзерновом пространстве. Из органической массы выделяется газовая фаза, что дает начало жидким и газообразным каустобиолитам.

Среди минералов осадочных месторождений можно выделить три группы: 1) устойчивые при выветривании обломочные минералы, принесенные с континента (кварц, рутил, полевые шпаты, слюды); 2) продукты химического выветривания (каолинит, монтмориллонит, гидрослюда, опал, гидроксиды железа и марганца); 3) осадочные новообразования (карбонаты, галогениды, фосфаты, рудные минералы, кремнистые продукты, углеводородные соединения).

Осадочные месторождения имеют, как правило, крупные размеры. Отдельные пласты морских месторождений протягиваются на десятки, а свиты пластов — на сотни километров. Мощность пластов колеблется в широких пределах — от 0,5 м (Донбасс) до 500 м (Соликамское месторождение).

Типы месторождений

В зависимости от преобладания в процессе осадкообразования того или иного вида дифференциации вещества, осадочные месторождения разделяют на механические (обломочные), химические и биохимические.

Механические осадочные месторождения. Рассматриваемые месторождения представляют собой скопления обломочного материала, сформировавшегося преимущественно при физическом разрушении горных пород и руд. Механическое разрушение может сопровождаться химическими преобразованиями неустойчивых минералов. Накопление материала осуществля-

ется за счет геологической деятельности различных экзогенных агентов — поверхностных вод, ветра, вод морей, океанов, озер, ледников. В том случае, если накапливаются различные по размерам обломки горных пород, состоящих из обычных породообразующих минералов (кварц, полевые шпаты, слюды и др.), возникают месторождения обломочных горных пород, используемых в качестве строительных материалов. Если же сносу и перетолжению подвергаются породы, содержащие вкрапленность и скопления полезных минералов, устойчивых в поверхностных условиях и обладающих высокой плотностью и физической прочностью, формируются россыпные месторождения.

Форма тел полезных ископаемых механических осадочных месторождений пласто- и плащеобразная, линзовидная, гнездовая, что целиком зависит от среды осадконакопления.

Среди *месторождений обломочных пород* можно выделить гравийные, песчаные и глинистые.

Месторождения гравия по условиям формирования разделяются на пролювиальные, аллювиальные, гляциальные, прибрежные озерные и морские. Они могут быть как современными, так и древними. Наибольший промышленный интерес представляют рыхлые гравийные отложения современных месторождений.

Распространены подобные месторождения довольно широко. Они известны в Средней Азии, на Кавказе, побережьях Белого, Балтийского, Азовского и Каспийского морей, в долинах рек Волги, Оки, Днепра, Оби и др.

Месторождения песка имеют самое различное происхождение. Наибольшим практическим значением обладают аллювиальные, озерные и морские месторождения. Среди последних выделяют платформенные и геосинклинальные. Для практического использования более пригодны рыхлые пески современных месторождений.

По составу пески делятся на моно- и полиминеральные. Среди мономинеральных наиболее широко распространены кварцевые пески, реже встречаются полевошпатовые. В разрезе многих месторождений наблюдается чередование разновидностей песков различного состава: высокосортные пески слагают линзы и относительно маломощные слои (рис. 2.20). Разрабатываются месторождения песков различного возраста и происхождения: четвертичные и палеоген-неогеновые (Украина), юр-

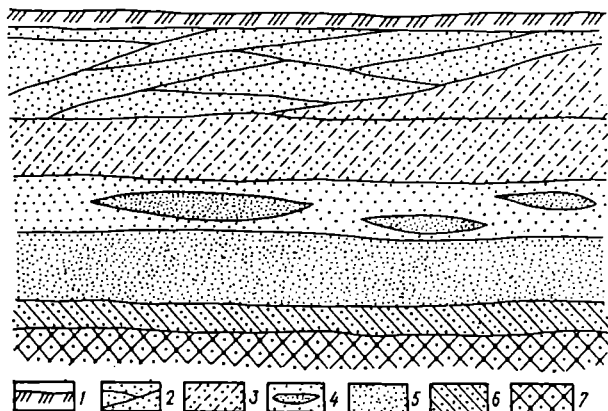


Рис. 2.20. Геологический разрез Люберецкого месторождения стекольных песков (по М.В. Муратову):

1 — почва; 2—7 — пески: 2 — древнеаллювиальные косослоистые, 3 — белые, слабо окрашенные, 4 — светлые с линзами чисто белых, 5 — высокосортные белые, 6 — ожежененные, 7 — глауконитовые

ские (Люберецкое), меловые (Скопинское в Рязанской области), раннекаменноугольные (Подмосковье), девонские (Ленинградская область).

Месторождения глин по условиям формирования делятся на делювиальные, аллювиальные, озерные, морские, гляциальные и золовые. Главными породообразующими минералами являются каолинит, монтмориллонит, пиррофиллит, гидрослюда, а также реликтовые минералы первичных пород (кварц, полевые шпаты). При содержании песчаной фракции 50—60 % породы называются суглинками, а более 80 % — супесями.

Делювиальные и аллювиальные месторождения глинистых пород обычно не постоянны по минеральному составу, часто в них отмечаются значительные примеси органического вещества. Качество глин низкое, и запасы невелики. Морские месторождения глин возникали во все периоды фанерозоя, включая кембрий. Для подобных месторождений характерны пластовые и пластообразные залежи, имеющие широкое площадное распространение. Мощность их изменяется в широких пределах. Глины морских месторождений плохо отсортированы. Залежи озерных месторождений при мощности от 3-6 до 15 м прослеживаются на площади в тысячи и сотни тысяч квадратных мет-

ров. Для них обычна линзообразная и пластовая форма. Глины месторождений этого типа хорошо отсортированы и относятся к огнеупорным и вторичным каолинам.

Месторождения глинистых пород известны на Украине (Часовьярское, Черкасское), в Воронежской (Латинское) и Новгородской (Боровичское) областях, на Урале.

Месторождения россыпей возникают благодаря концентрации ценных компонентов среди обломочных отложений в процессе разрушения и переотложения вещества горных пород и ранее существовавших месторождений полезных ископаемых, претерпевших физическое и химическое выветривание. По существу, в генетическом плане россыпи не представляют собой самостоятельной группы месторождений, так как очень многие из них сформировались при переотложении продуктов выветривания, т.е. являются осадочными образованиями. Однако особенности их состава и условий залегания позволяют многим исследователям отделять россыпи от близких к ним месторождений.

По условиям образования среди россыпных месторождений различают элювиальные, делювиальные, пролювиальные, аллювиальные (или речные), литоральные (или прибрежные), гляциальные и золовые.

Механизм формирования россыпей заключается в сортировке обломочного материала по крупности, плотности и форме частиц, в истирании и скатывании обломков, дифференциации материала по степени механической прочности и химической устойчивости в процессе транспортировки.

Элювиальные россыпи возникают на месте залегания коренных пород, и контуры тех и других примерно совпадают. Россыпи могут быть необогащенными, если представляют собой развалы вещества полезного ископаемого среди обломков коренных пород, и обогащенными, если «пустые» породы частично вымыты водами плоскостного стока.

Это единственный вид россыпей, который относится к месторождениям выветривания, однако для удобства изложения они рассматриваются вместе с преобладающей частью россыпей среди механических осадочных месторождений.

Делювиальные россыпи формируются при сортировке обломочного материала в процессе его сползания по склону под влиянием силы тяжести. Характер смещения обломочной массы, а следовательно, и строение россыпи зависят от угла склона, мощности осыпи, параметров (размеры, форма, плотность)

обломков, климатических, гидрогеологических и инженерно-геологических факторов. Контуры делювиальных россыпей растянуты вниз по склону с вершиной у источников. Длина россыпей достигает десятков — первых сотен метров. Распределение ценных минералов в их пределах неравномерное, с максимумом содержаний в вершинах россыпей.

Проллювиальные россыпи очень редки. Они развиваются у подножия гор вследствие смывания временными потоками обломочного материала со склонов. Обломки в таких россыпях слабо окатаны и плохо отсортированы.

Аллювиальные россыпи образуются за счет дифференциации и отложения перемещаемых донных осадков. Накопление материала происходит в них только в определенные моменты при оптимальном режиме перемещений аллювия по дну реки, зависящем от соотношения скоростей течения реки в разных ее частях и фракционного состава аллювия.

Аллювиальные россыпи делятся по месту их расположения на косовые, русловые, долинные, террасовые и дельтовые. Они могут быть простыми — при одном горизонте ценных минералов и сложными — при наличии двух и более подобных горизонтов. В поперечном разрезе россыпей различают плотик (рис. 2.21), пески (или пласт), торфа (песчано-глинистые осадки) и почвенный слой (отсутствует в русловых россыпях).

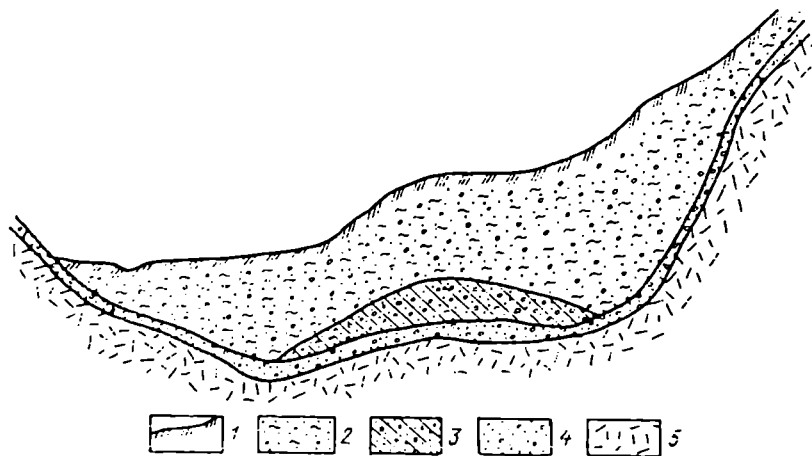


Рис. 2.21. Строение аллювиальной россыпи (по В.Н. Котляру):

1 — наносы (почвенный слой); 2 — торфа; 3 — пески (пласт); 4 — безрудный аллювий; 5 — коренная порода — плотик

Плотик бывает коренной, сложенный коренными породами дна речной долины, и ложный, подстилающий верхние залежи сложных россыпей и представленный обычно глиной. Пески (пласт) состоят из валунно-галечных образований, содержащих в качестве связующего материала песчаную и глинистую фракции и концентрирующих основную массу тяжелых минеральных частиц. Торфа представляют собой песчано-глинистые осадки, обедненные тяжелыми минералами. Граница между торфами и песками (пластом) постепенная.

Аллювиальные россыпи могут размещаться в непосредственной близости от коренных источников. Они протягиваются вдоль реки на различное расстояние — в зависимости от гидрогеологического режима, богатства коренного источника, глубины его эрозионного среза и поведения сростков зерен ценного минерала в речном потоке. Распределение минералов в россыпи обычно неравномерное.

Прибрежные россыпи формируются под влиянием приливов и отливов, волн и береговых течений. Абразивные и аккумулятивные берега неблагоприятны для образования прибрежных россыпей. Оптимальные условия для их создания возникают у стабильных по степени развития профиля равновесия берегов, вдоль которых происходит непрерывное возвратно-поступательное перемещение обломочных масс, их измельчение, сортировка и переотложение. Прибрежные россыпи локализуются в пляжной зоне, при этом тяжелые минералы накапливаются в верхней части отложений, подверженных постоянному перемыву морскими волнами.

Прибрежные морские и океанические россыпи располагаются узкой полосой между линиями прилива и отлива или в зоне прибоя в закрытых бассейнах. Для них характерны хорошо отсортированные равномернозернистые скопления ценных минералов с высоким их содержанием. Протяженность россыпей весьма значительна, а мощность их не превышает 1 м. Обычно подобные россыпи залегают в самой верхней части песчаных отложений побережья или перекрыты маломощным (до 1 м) слоем песка.

По времени образования россыпи могут быть современными и древними (ископаемыми), по условиям залегания они делятся на открытые и погребенные, по форме среди них различают плащеобразные, пластовые, линзовидные и гнездовые. Размеры россыпей колеблются в широких пределах. Косовые и

русловые россыпи верховьев рек имеют протяженность до 10—15 м. Долинные россыпи протягиваются на сотни километров.

Россыпи концентрируют только те минералы, для которых характерны высокая плотность, химическая устойчивость в зоне окисления, физическая прочность. Соответственно, наиболее распространенными ценными минералами россыпей являются золото, платина, киноварь, колумбит, танталит, вольфрамит, касситерит, шеелит, монацит, магнетит, ильменит, циркон, корунд, рутил, гранат, топаз, алмаз. По количеству ценных минералов россыпи могут быть мономинеральными и комплексными.

Россыпные месторождения служат важным источником ряда полезных ископаемых. Они дают около половины мировой добычи алмазов, титана, вольфрама и олова, 10—20 % добычи золота и платины. Немалое значение имеют россыпи в добыче тантала, ниобия, монацита, магнетита, граната и горного хрусталя.

Выделяют следующие типы россыпных месторождений.

Золотоносные (аллювиальные) Россия (Восточная Сибирь — долины рек Алдан, Колыма, Бодайбо), Австралия (Калгурли), США (Аляска, Калифорния), Бразилия.

Платиноносные (элювиальные и аллювиальные) — Россия (Урал), Конго, Зимбабве, Эфиопия, США (Аляска), Колумбия.

Алмазоносные (все генетические типы россыпей) — Россия (Саха, Урал), Индия, ЮАР, Намибия, Ангола, Танзания, Конго, Австралия, Венесуэла, Гайана.

Касситерит-вольфрамовые (делювиальные и аллювиальные) — Северо-Восток России (Иультин, Пыркай), Саха (Якутия) (Омчи-кандин, Депутатское), Забайкалье (Шерловогорское), Казахстан (Кара-Оба, Богуты); КНР (Нюшипо), Индонезия (Банка), Мьян-ма (Бвабин, Хейда), Конго, Австралия, США (Атолия в Калифорнии), Бразилия.

Монацитовые и цирконовые (литоральные) — Индия, Шри-Ланка, Австралия, Бразилия.

Колумбит-танталовые — Россия, Конго, Нигерия, Бразилия.

Магнетит-ильменитовые (литоральные) — Россия (Западная и Восточная Сибирь, Средняя Азия); Индия, Шри-Ланка, Сьерра-Леоне, Мадагаскар, Австралия, США, Бразилия.

Химические осадочные месторождения. Подобные месторождения формируются из истинных или коллоидных растворов. Из истинных растворов в лагунах, солеродных морских бассей-

нах в условиях аридного климата возникают месторождения минеральных солей, гипса, ангидрита, боратов, барита, но эти отложения накапливаются только при очень высокой концентрации солей в растворах.

Руды металлов осаждаются на дне водных бассейнов (речных, озерных, морских) из суспензий и коллоидных растворов, образующихся за счет продуктов континентальной коры выветривания. Соединения этих металлов транспортируются реками и грунтовыми водами в форме тонких взвесей, коллоидных и истинных растворов. Отлагаются эти соединения в прибрежных зонах озер и морей под действием растворенных в водах электролитов, которые коагулируют коллоиды и переносят их в осадок.

В связи с различной геохимической подвижностью металлов происходит их дифференциация в процессе отложения. Бокситы накапливаются ближе к берегу, а марганцевые руды — в верхней части шельфа. Дифференциация отмечается и для руд одного металла. Она выражается в изменении минерального состава руд при удалении от берега. В этом направлении в залежах марганцевых руд четырехвалентные соединения последовательно сменяются трехвалентными, а затем двухвалентными. В залежах железных руд в том же направлении наблюдается переход от оксидов к карбонатам, а затем к силикатам.

Среди химических осадочных месторождений выделяют следующие основные типы: сильвин-галитовый, сидерит-шамозит-лимонитовый, родохрозит-псиломелан-пирропозитовый и бокситовый.

Сильвин-галитовые месторождения минеральных солей состоят из хлоридов и сульфатов натрия, калия, магния, кальция с примесью бромидов, иодидов и боратов. Главным минералом большинства месторождений является галит. Постоянно присутствуют сильвин, гипс и ангидрит.

По условиям формирования месторождения минеральных солей разделяют на современные соленосные бассейны, соляные подземные воды и ископаемые соляные месторождения.

Современные морские соленосные бассейны возникают вследствие колебательных движений земной коры. При опускании пониженных прибрежных участков происходило заполнение их морской водой и интенсивное засоление при ее выпаривании в условиях жаркого климата. Такие соленосные бассейны известны на побережье Черного (Донузлав), Азовского (Сиваш), Каспийского (Кара-Богаз-Гол) и Аральского (Джак-

сыклым) морей. Континентальные соляные озера образуются в бессточных котловинах аридных областей при выпаривании поступающих в них поверхностных и подземных вод. Такие озера встречаются в Западной Сибири, Казахстане, в Монголии, Иране, Восточной Африке, Австралии.

Ископаемые залежи минеральных солей формировались в прошлые геологические эпохи в условиях аридного климата при испарении морской воды в изолированных лагунах. Накопление галогенных осадков мощностью в сотни метров и появление крупнейших соляных месторождений предопределялось особыми геологическими и структурно-тектоническими условиями. Наиболее благоприятны для образования соляных месторождений краевые прогибы и синеклизы платформ.

Все известные группы месторождений приурочены именно к этим структурным элементам земной коры — Предуральскому, Предкарпатскому, Закарпатскому, Донецкому, Предпирийскому, Предатласскому краевым прогибам, а также к Каспийской, Днепровско-Донецкой, Московской, Ангаро-Ленской, Вилуйской, Польско-Германской, Северо-Германской и Внутриамериканской синеклизам.

Крупными месторождениями калийных солей являются Верхнекамское на Урале (рис. 2.22), Старобинское в Белоруссии, Калуш и Стебник в Западной Украине, а также Стратсфуртское в Германии. Среди месторождений каменной соли широко известны Славяно-Артемовское (Донбасс) и Илецкое (Орен-

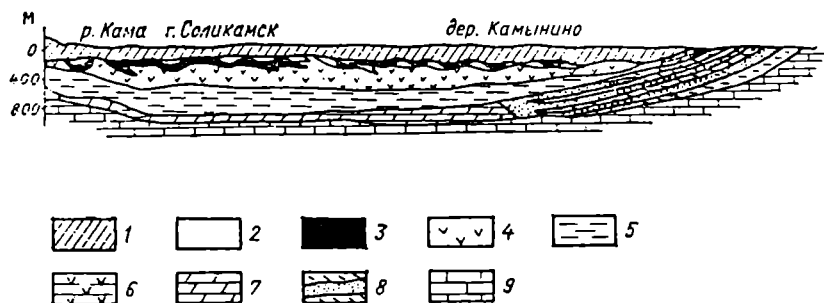


Рис. 2.22. Геологический разрез Верхнекамского месторождения (по А. А. Иванову):

1 — покровные породы; 2 — покровная каменная соль; 3 — зона калийных солей; 4 — подстилающая каменная соль; 5 — ангидрит-глинистая толща; 6 — соленосные песчаники и глины; 7—9 — подстилающие породы: 7 — доломитизированные мергели, 8 — песчано-конгломератные отложения, 9 — известняки

бургская область); за рубежом месторождения имеются также в Германии и Канаде.

Сидерит-шамозит-лимонитовые железорудные месторождения представлены пластами, вытянутыми линзами, пластообразными залежами и гнездами. Протяженность рудных тел составляет обычно десятки и сотни километров при ширине в несколько километров, а мощность — десятки метров. В состав руд входят оксиды и гидроксиды железа (лимонит, гидрогётит, гётит, гематит), карбонаты (сидерит) и железистые силикаты — хлориты (шамозит, тюрингит). Кроме того, руды содержат минералы марганца, кварц, халцедон, кальцит, барит, гипс, глинистые минералы. Текстуры руд оолитовые. Вмещающими являются песчано-глинистые морские и континентальные отложения. Крупные осадочные железорудные месторождения расположены в Крыму (Керченский бассейн), Казахстане (Аятское), в Центральной Европе (Лотарингский бассейн), Мали, Австралии, США (Клинтон), Канаде.

Залежи *родохрозит-псиломелан-пирролюзитовых месторождений* имеют форму пластов, пластообразных и линзовидных тел, прослеживающихся по простиранию на несколько километров при ширине сотни метров и мощности — 10—20 м. В минеральном составе руд основную роль играют оксиды и гидроксиды (пирролюзит, псиломелан, манганит), карбонаты (родохрозит, манганокальцит) и силикаты марганца (родонит, марганцевые гранаты). В тех или иных количествах в рудах присутствуют лимонит, глинистые минералы, опал, пирит, марказит, барит. Текстуры руд конкреционные, пористые, сажистые.

По структурно-геологическому положению осадочные месторождения марганца делятся на прибрежно-морские платформенные (Никопольское на Украине, Чиатурское в Грузии) и субплатформенные (Успенское в Кузнецком Алатау), а также геосинклинальные (Малый Хинган, Южный Урал). Первые из перечисленных являются наиболее крупными по масштабам. Они локализируются среди кремнистых, песчано-глинистых и карбонатных пород. Рудные тела характеризуются почти горизонтальным залеганием, выдержанной мощностью и равномерным составом руд.

За рубежом месторождения описываемого типа известны в Италии, Испании, Великобритании, КНР, Габоне и США.

Современные месторождения конкреционных железо-марганцевых руд обладают огромными запасами сырья. Кроме того,

эти запасы постоянно возобновляются. Руды состоят из оксидов и гидроксидов марганца и железа, халцедона, хлорита, глинистых минералов. Помимо марганца (в среднем 20 %) и железа (в среднем 16 %) руды содержат промышленные концентрации никеля (0,6 %), кобальта (0,33 %), меди (0,35 %), свинца, цинка и серебра. Значительные площади развития подобных руд выявлены в Тихом, Атлантическом и Индийском океанах.

Осадочные бокситовые месторождения разделяются на платформенные и геосинклинальные. Для залежей типична пластовая, линзо-, гнездо- и лентовидная форма. Они имеют мощность от нескольких метров до первых десятков метров при площади развития в несколько квадратных километров. Характерна приуроченность залежей к песчано-глинистым и карбонатным отложениям. Нижний контакт рудных тел обычно неровный, что обусловлено заполнением бокситами карстовых полостей в контактирующих с рудами известняках. Руды состоят из бемита, диаспора и гиббсита, гидроксидов железа, кремнезема и глинистых минералов. Текстуры руд массивные, оолитовые, бобовые, брекчиевые, пористые, рыхлые.

Месторождения рассматриваемого типа расположены на Урале (СУБР и ЮУБР), в Ленинградской области (Тихвинская группа), на Тимане (Южно-Тиманская группа), в Тургайском прогибе (Амангельдинская группа), а за рубежом — в Венгрии, Франции, на о. Ямайка.

Биохимические осадочные месторождения. Образование биохимических осадков обусловлено способностью некоторых животных и растительных организмов концентрировать при жизнедеятельности большие количества тех или иных химических элементов. В некоторых морских организмах содержание элементов во много раз выше кларкового. Так, концентрация фтора, бора, калия и серы в организмах может быть выше кларковой в десятки раз, брома, стронция, железа, мышьяка и серебра — в сотни раз, кремния и фосфора — в тысячи раз, а цинка и марганца — в сотни тысяч раз. Кроме того, некоторые организмы накапливают редкие и рассеянные элементы. Например, в золе углей по сравнению с литосферой содержание германия выше в 70—120 раз, бериллия в 30—150 раз, кобальта в 30, скандия в 10—20, молибдена в 13, галлия в 7—10, олова в 4 раза.

Биохимическое осадочное происхождение имеют месторождения известняков, доломитов, мергелей, диатомитов, фосфо-

ритов, урана, ванадия, серы, а также твердых, жидких и газообразных каустобиолитов.

Главными типами биохимических осадочных месторождений являются фосфоритовый, самородной серы и каустобиолитов (горючих ископаемых).

Месторождения фосфоритов представлены скоплениями сложного химического соединения фосфорнокислого, фтористого и углекислого кальция. Совместно с фосфоритом присутствуют кальцит, глауконит, реже отмечаются хлорит, сидерит, гётит, каолинит. Фосфор, приносимый в морские водоемы, усваивается животными и растительными организмами. Концентрация его в костях, панцирях, ткани и крови морских организмов достигает значительных величин.

Фосфориты образуются биологическим и биохимическими способами. В первом случае в результате массовой гибели морских организмов появляются скопления их остатков на дне моря. Сначала происходит разложение органического вещества с выделением углекислого аммония и фосфорнокислого кальция. Затем при их взаимодействии возникает фосфорнокислый аммоний. Последний реагирует с известковистыми раковинами, в результате чего формируется фосфорит.

Согласно биохимической схеме, фосфор, приносимый в моря реками, в поверхностных слоях (до глубины 50 м) интенсивно поглощается организмами, и здесь его содержание очень низкое. На глубине от 350 до 1000 м осуществляется массовое разложение отмерших организмов, выделение фосфорного ангидрита и поглощение его морской водой, насыщенной углекислым газом. Вследствие восходящих течений эти глубинные воды, насыщенные фосфором и углекислым газом, поднимаются к приповерхностной зоне шельфа, парциальное давление углекислого газа снижается, и на глубине 100—150 м происходит выпадение фосфата.

Некоторые исследователи связывают становление месторождений фосфоритов с апвеллингом — движением (подъемом) вод с глубины в верхние слои океана. На это указывает палеогеографическая реконструкция фосфоритоносных бассейнов докембрия и фанерозоя, свидетельствующая о том, что большая часть крупных фосфоритовых месторождений формировалась на океанских шельфах, омывавшихся мощными апвеллингами, способствовавшими выносу со стороны океанических глубин

крупных масс холодной воды с растворенными фосфором, кремнием и другими биогенными компонентами.

Фосфоритовые месторождения разделяют на геосинклинальные и платформенные. Первые приурочены к узким прогибам шельфа. Фосфоритовые залежи обычно имеют пластовую форму и значительные размеры — протяженность до 100 км при ширине 40—50 км. Текстуры руд массивные.

Платформенные месторождения располагаются в пределах синеклиз. Они менее значительны по размерам. Руды по текстуре желваковые или вкрапленные (рассеянный фосфорит). По составу среди них различают глинистые и песчано-глинистые с рассеянным фосфоритом. На одном из типичных платформенных месторождений (рис. 2.23) маломощные (15—20 см) слои рассеянного и желвакового фосфорита чередуются в разрезе с песками и глинами; отмечается так называемая фосфоритовая плита (мощность 30—40 см), образованная плотным и крепким, почти массивным фосфоритом.

Известны такие геосинклинальные и платформенные месторождения фосфоритов, как Каратау (Казахстан), Егорьевское (Подмосковье), Цигровское (Курская область). Кингисеппское (Ленинградская область). Маарду (Эстония). Крупные месторождения выявлены в Алжире, Тунисе, Марокко, Египте, США, Перу, Венесуэле.

Месторождения серы биохимического происхождения формируются вследствие деятельности анаэробных бактерий, живущих в бескислородной среде. Эти бактерии разлагают органические вещества и сульфат кальция с выделением сероводорода и карбоната

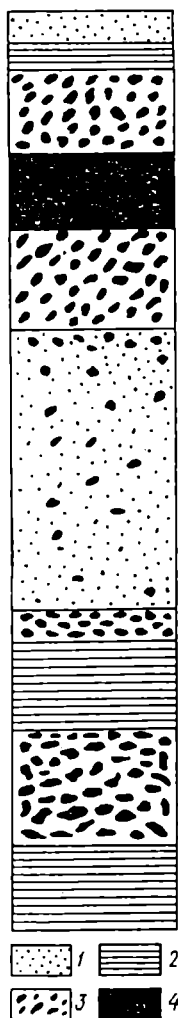


Рис. 2.23. Геологическая колонка (разрез) Егорьевского месторождения фосфоритов:

1 — пески; 2 — глины; 3 — фосфорит; 3 — конкреционный, 4 — массивный

кальция. Сероводород в верхней части водоема окисляется до самородной серы под действием кислорода или серных анаэробных бактерий. Сера оседает на дно, где смешивается с кальцитом, гипсом и другими осадками.

Месторождения, сформировавшиеся таким образом, сложены переслаивающимися карбонатными и гипсовыми породами; руды являются карбонатными. Залежи, имеющие пластовую форму, распространены на значительной площади. Такие месторождения называются сингенетическими. Их примеры: месторождения Среднего Поволжья и Предкарпатья.

Эпигенетические месторождения самородной серы возникают биохимическим путем в разных по составу трещиноватых и пористых породах, насыщенных подземными сульфатными водами и содержащих органическое вещество. Под воздействием бактерий сульфатные воды, возникшие за счет гипс-ангидритовых пород, обогащаются сероводородом. Окисление последнего до самородной серы происходит при выходе сероводородных вод на поверхность или смешении их с поверхностными кислородными водами в трещинных зонах. Формы рудных тел эпигенетических месторождений — линзы, гнезда, штокообразные или неправильной формы залежи. Типичными примерами месторождений этого типа являются Шорсу и Гаурдак (Средняя Азия).

Месторождения самородной серы известны в Поволжье (Водинское, Алексеевское, Сюкеевское), Предкарпатье (Роздольское, Язовское, Сорокское), Средней Азии (Гаурдак, Шорсу, Каракумы), в Польше, Италии, США, Мексике.

Каустобиолиты (твердые горючие ископаемые) представлены ископаемыми углями и горючими сланцами. По значению для современной промышленности они занимают особое место среди месторождений биогенного происхождения.

Процесс образования углей достаточно сложен. Тем не менее в нем четко выделяются две основные стадии. На первой происходит превращение отмерших растений в торф, на второй — торфа в бурый уголь. Затем бурый уголь переходит в каменный, а последний в антрацит (рис. 2.24).

Ископаемые угли характеризуются большим разнообразием химического состава, физических и технологических свойств. Это разнообразие обусловлено неодинаковым проявлением в геологической истории формирования углей основных генетических факторов.

Генетические факторы подразделяются на первичные, играющие основную роль на торфяной стадии процесса углеобра-

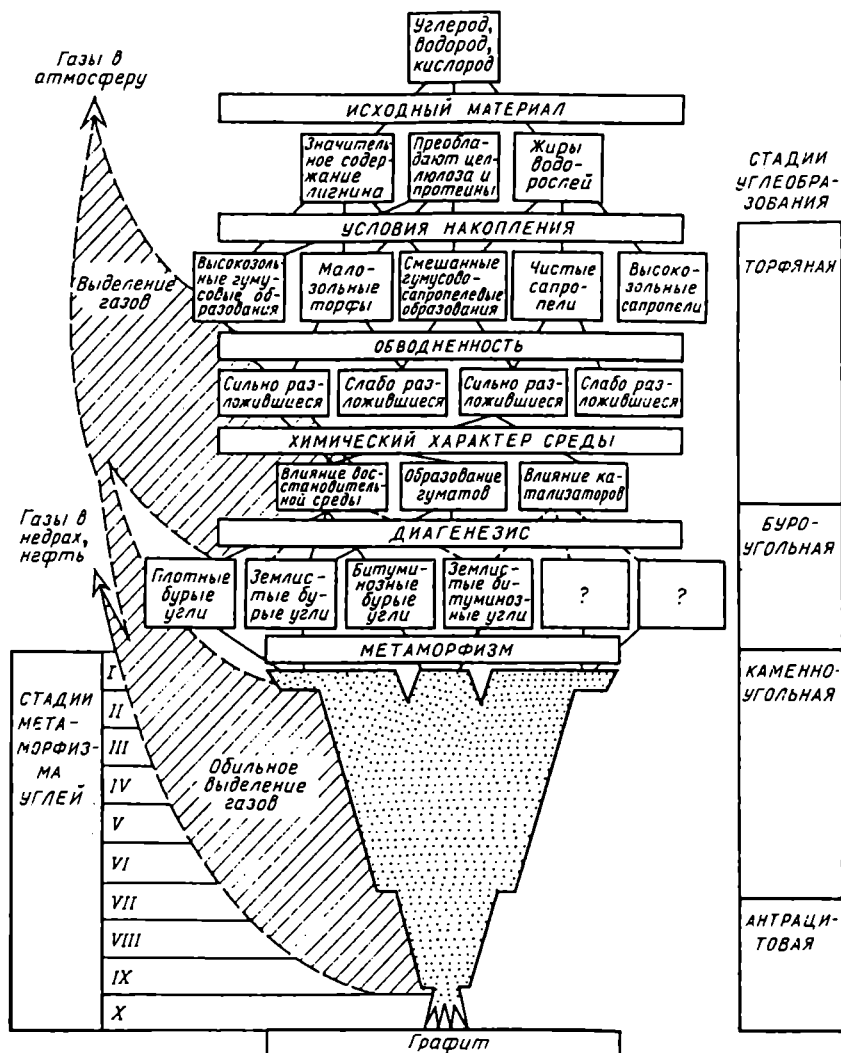


Рис. 2.24. Схема образования углей (по И.И. Аммосову)

зования, действовавшие после превращения торфа в бурый уголь. К первичным относятся состав исходного растительного материала, а также условия его накопления и превращения в конкретной физико-географической обстановке с теми или другими гидрохимическими и климатическими условиями. Особенности исходного материала, гидрохимических и климатических условий определяли также интенсивность и характер деятельности микроорганизмов в торфогенерирующем слое.

После перекрытия торфяника осадком уменьшается влажность торфа, в нем замирает микробиологическая деятельность. Биохимические процессы, которые приводят к гумификации растительных остатков, сменяются при этом геохимическими. Стадия образования торфа переходит в стадию углефикации. В этих условиях начинается воздействие вторичных факторов, которые объединяются одним общим термином — метаморфизм. Изменение органических веществ в процессе метаморфизма обусловлено действием в течение длительного времени температуры и давления. Глубины погружения угольных пластов, температура, давление и время их воздействия существенно различаются в пределах разных угленосных бассейнов.

Основы генетической классификации твердых горючих ископаемых были разработаны немецким палеоботаником Г. Потенье, который подразделил все «биолиты» на два типа: акаустобиолиты и каустобиолиты.

Акаустобиолиты представляют собой неорганический остаток, формирующийся после полного разложения органического вещества растительных и животных остатков.

Каустобиолиты разделяются на три группы:

1) сапропелиты, образующиеся при восстановительном разложении остатков низших организмов в условиях «гниющего ила» (сапропеля);

2) каустобиолиты гумусовые, являющиеся продуктами разложения остатков высших растений в болотных условиях (торф, уголь);

3) липтобиолиты (остаточные гумусовые каустобиолиты) возникающие из наиболее устойчивых частей растений, трудно разлагающихся в окислительных условиях (янтарь, рабдописсит).

**Классификация твердых горючих ископаемых
(по Ю.А. Жемчужникову)**

Группы	Классы	Примеры углей
I. Гумолиты (происходят из высших растений)	I. Гумиты (лигнинно-целлюлозные + кутиновые элементы или смолы) II. Липтобиолиты (кутиновые элементы, смолы)	Однородные полосчатые (дюреновые, клареновые фюзено-ксиленовые) Споровый (тасмаснит); кутиковый (барзасит); коровый (лопенит)
II. Сапропелиты (происходят из низших растений и животного планктона)	III. Собственно сапропелиты IV. Сапроколлиты	Богхед; марагунит, кеннель; кеннель-богхед; касянит Матаганит, хахарейский

Классификация Г. Потенье была развита Ю.А. Жемчужниковым, который дополнил ее, детализировав исходный материал и условия его превращения (табл. 2.2). По этой классификации среди гумусовых каустобиолитов (гумолитов) различают два класса — гумитов и липтобиолитов, а среди сапропелитов — собственно сапропелиты, сохранившие остатки водорослей с хорошо выраженным анатомическим строением, и сапроколлиты, в которых водоросли превратились в бесструктурную массу.

В классификации Г.А. Иванова собственно сапропелитовые каустобиолиты подразделяются по зольности. При этом горючие сланцы рассматриваются как высокозольные сапропелиты.

Контрольные вопросы и задания

1. На каких принципах построена предлагаемая классификация месторождений полезных ископаемых и какие единицы она содержит?
2. Какими особенностями условий образования и вещественного состава характеризуются месторождения геосинклинальных и платформенных областей?
3. Какие виды полезных ископаемых приурочены к дну морей и океанов?
4. Дайте характеристику геологических факторов, определяющих условия образования и размещения месторождений полезных ископаемых.
5. Назовите глубинные зоны формирования месторождений полезных ископаемых. Какие типы месторождений формируются в различных зонах?
6. Какие физико-химические параметры определяют условия образования полезных ископаемых?
7. Назовите источники вещества и способы его отложения при формировании полезных ископаемых.
8. Что такое магматические месторождения? Какие типы дифференциации вещества происходят при их формировании?
9. Как образуются ранне-, позднемагматические и ликвационные месторождения?

10. Назовите геологические условия формирования раннемагматических месторождений. Какие полезные ископаемые характерны для них?
11. Назовите характерные особенности условий залегания, строения и состава позднемагматических месторождений. Какие типы позднемагматических месторождений имеют промышленное значение?
12. Дайте характеристику ликвационных сульфидных медно-никелевых месторождений.
13. Что называют пегматитовыми месторождениями? Как образуются гранитные пегматиты согласно различным генетическим гипотезам?
14. Расскажите о геологических условиях формирования и полезных ископаемых простых пегматитов.
15. Какие полезные ископаемые связаны с перекристаллизованными пегматитами?
16. Какие типы метасоматически замещенных пегматитов имеют промышленное значение?
17. Что такое гидротермальные месторождения?
18. Расскажите о физико-химических условиях формирования гидротермальных месторождений.
19. Охарактеризуйте геологические условия и полезные ископаемые плутоногенных гидротермальных месторождений.
20. Опишите геологические условия и полезные ископаемые вулканогенных гидротермальных месторождений.
21. Какие изменения строения и состава геологических тел происходят в процессе метаморфизма?
22. Назовите особенности геологических условий образования и полезные ископаемые метаморфизованных месторождений.
23. Дайте характеристику особенностей геологического строения метаморфических месторождений. Какие полезные ископаемые связаны с ними?
24. Что такое контактово-метасоматические месторождения?
25. При каких физико-химических условиях происходит метасоматическое замещение и формируются альбититовые, грейзеновые и скарновые месторождения?
26. Расскажите об особенностях геологического строения и полезных ископаемых альбититовых месторождений.
27. Охарактеризуйте геологические условия образования грейзеновых месторождений различных промышленных типов.
28. Опишите геологические условия и полезные ископаемые скарновых месторождений. В чем состоят отличия известковых и магнезиальных скарнов?
29. Как формируются вулканогенно-осадочные месторождения? Какие особенности условий залегания, морфологии и состава тел полезных ископаемых для них характерны?
30. Расскажите о геологических условиях образования и вещественном составе колчеданных месторождений.
31. Дайте характеристику свинцово-цинковых и железорудных вулканогенно-осадочных месторождений.
32. Какие месторождения относятся к гидротермально-осадочным (стратиформным)?
33. Дайте характеристику геологического строения и вещественного состава борнит-халькопиритовых стратиформных месторождений.
34. Расскажите об особенностях геологического строения и вещественного состава галенит-сфалеритовых стратиформных месторождений.
35. Какие особенности геологического строения и вещественного состава позволяют отличать стратиформные киноварь-антимонитовые месторождения от гидротермальных?
36. Что такое кора выветривания?
37. Назовите основные физико-химические процессы выветривания и профили коры выветривания.
38. Какие структурно-морфологические особенности характерны для месторождений площадной, линейной и приконтактной коры выветривания?
39. Какие особенности условий залегания, морфологии и вещественного состава свойственны остаточным месторождениям выветривания?

40. Как образуются инфильтрационные месторождения выветривания? Какие полезные ископаемые с ними связаны?
41. Какие изменения вещественного состава и строения происходят при выветривании месторождений полезных ископаемых?
42. Опишите стадии седиментогенеза и типы дифференциации осадков при формировании осадочных месторождений полезных ископаемых.
43. Какие минералы входят в состав осадочных месторождений?
44. Охарактеризуйте геологические условия образования и полезные ископаемые механических осадочных месторождений.
45. Расскажите об особенностях морфологии, условий залегания и вещественного состава россыпных месторождений.
46. Какие типы россыпных месторождений имеют промышленное значение?
47. Опишите геологические и физико-химические условия формирования химических осадочных месторождений.
48. Дайте характеристику морфологии, условий залегания и вещественного состава химических осадочных месторождений различных промышленных типов.
49. Как формируются биохимические осадочные месторождения фосфоритов и серы? Какими особенностями геологического строения они характеризуются?
50. Как образуются месторождения каустобиолитов?
51. Приведите классификацию твердых горючих ископаемых.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ХАРАКТЕРИСТИКА ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ИХ ОСВОЕНИЯ

Металлические полезные ископаемые

В настоящее время из руд месторождений извлекаются и используются в промышленности более 70 металлов. Промышленные классификации металлов многочисленны, разнообразны, но в значительной мере условны, так как базируются на различных принципах (иногда даже в одной классификации) — областях или промышленных отраслях применения, физических и химических свойствах, степени распространенности месторождений и др.

В зависимости от свойств металлов, определяющих направления промышленного использования, их разделяют на следующие группы:

1. Черные и легирующие: железо, марганец, хром, титан, ванадий, никель, кобальт, вольфрам.

2. Цветные: алюминий, медь, цинк, свинец, олово, сурьма, висмут, ртуть.

3. Благородные: золото, серебро, металлы платиновой группы (платина, палладий, иридий, родий, рутений, осмий).

4. Радиоактивные: уран, радий, торий.

5. Редкие и рассеянные: литий, бериллий, рубидий, цезий, гафний, скандий, галлий, рений, кадмий, индий, таллий, германий, селен, теллур, тантал, ниобий, цирконий.

6. Редкоземельные: лантан, церий, празеодим, неодим, прометий, самарий, иттрий, европий, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций.

Ведущие отрасли народного хозяйства, осуществляющие добычу и переработку руд металлов — черная и цветная металлургия.

Черная металлургия добывает и перерабатывает руды типичных черных металлов — железа, марганца, хрома, а также производит необходимое для металлургической переработки руд дополнительное сырье — магнезит, огнеупорные глины и др. На некоторых рудниках попутно получают неметаллическое сырье, применяемое в других отраслях.

В цветной металлургии кроме руд цветных металлов добывают благородные, редкие, рассеянные, и редкоземельные металлы. Легирующие металлы, необходимые для выплавки специальных сталей и сплавов, также производят на предприятиях цветной металлургии. Радиоактивные металлы, включенные в группу металлических полезных ископаемых, используются преимущественно в качестве высококалорийного топлива в энергетике.

Перечисленные в настоящей классификации металлы, свойства которых прямо зависят от строения их атомов, занимают определенное положение в периодической системе элементов Д.И. Менделеева. Химические особенности отдельных металлов при этом обуславливают характер их поведения при различных геологических процессах, играют важную роль при обосновании технологических схем их выделения из руд при переработке, получения различных сплавов и соединений.

Месторождения металлических полезных ископаемых сложены ассоциациями химических элементов и минералов. Их пространственно-морфологические особенности определяются совокупностью магматических, литолого-стратиграфических и структурных факторов, обусловленных рудогенетическими процессами. При группировке промышленных типов использована единая генетическая классификация месторождений полезных ископаемых.

Важнейшими признаками, определяющими условия промышленного освоения месторождений металлических полезных ископаемых, являются следующие:

1. Вещественный состав руд, характеризующий составом и соотношением химических элементов и минеральных компонентов, структурой и текстурой руд, а также изменчивостью этих показателей в рудных телах.

Металлические руды могут быть монометальными (железные, хромовые, золотые и др.), из которых извлекается в основном один металл, биметальными, содержащими промышленные концентрации двух металлов (свинцово-цинковые, медно-

молибденовые, сурьмяно-ртутные и др.) и полиметалльными, служащими сырьем для получения нескольких металлов (полиметаллические, медно-колчеданные, медно-никелевые). Для руд многих месторождений типично присутствие редких и рассеянных элементов, которые при возможности их извлечения значительно повышают ценность добываемого минерального сырья.

Показатели вещественного состава руд обуславливают общий характер и конкретные схемы их технологической переработки, а также в конечном счете ценность месторождений и руд из-за различной стоимости извлекаемых металлов.

2. Пространственно-морфологические параметры рудных тел, определяемые их формой, размерами, пространственным положением и условиями залегания среди вмещающих пород.

Эти показатели наиболее существенно влияют на условия эксплуатации: схемы вскрытия, способы и системы разработки. Так, крупные, неглубоко залегающие тела даже при невысоком качестве руд целесообразно разрабатывать крупными карьерами. Мелкие жильные тела глубинного типа, имеющие небольшую мощность, разрабатываются, как правило, подземным способом со значительным извлечением безрудных пород, что рентабельно только для высокоценных металлов.

3. Масштаб месторождений, т.е. количество запасов руд основных металлов и сопутствующих компонентов, непосредственно определяющее экономические показатели промышленного освоения.

3.1. ЖЕЛЕЗО

Общие сведения

Применение. Железные руды являются исходным сырьем для получения чугуна (с содержанием углерода — С 2,5—4 % и более), сталистого чугуна (2,5—1,5 % С), стали (1,5—0,2 % С) и железа (0,2—0,04 % С). Около 90 % чугуна является «передельным» и переплавляется в сталь. Остальной чугун (литейный) используется для получения отливок. Добавка марганца, ванадия, хрома, никеля, вольфрама, молибдена, ниобия и других легирующих металлов существенно улучшает качество сталей, повышает их механическую прочность, вязкость, антикоррозионные свойства, кислотоупорность, жаростойкость и др. Присутствие бора повышает полезное действие других легирующих элементов. Некоторые разности железных руд применяются в

химической промышленности для получения красок, а также в нефтяной промышленности (магнетит) в качестве утяжелителя глинистых растворов при бурении скважин.

Геохимия и минералогия. Среднее содержание (кларк) железа в земной коре 4,65 % (по массе). Повышенные концентрации наблюдаются в ультраосновных, основных и средних магматических, а также в метаморфических породах. Коэффициент концентрации железа (отношение среднего содержания в промышленных рудах к кларку) низкий (около 10).

Известно более 450 минералов, содержащих железо. Промышленными минералами являются магнетит Fe_3O_4 (72,4 % Fe), мартит и гематит Fe_2O_3 (70 %)*, ильменит FeTiO_3 (36,8 %), бурые железняки $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (48—63 %), т.е. природные гидроксиды железа в смеси с гидроксидами кремнезема и глинистым веществом, сидерит FeCO_3 (48,3 %), железистые хлориты (27—38 %) — шамозит и тюрингит, т.е. водные алюмосиликаты железа.

Типы руд и кондиции. В зависимости от основного рудообразующего минерала, определяющего технологические свойства сырья, промышленные железные руды разделяются на следующие типы: магнетитовые, мартитовые и полумартитовые; титаномagnetитовые; гематитовые и гидрогематитовые; буро-железняковые; сидеритовые; железисто-хлоритовые (силикатные). Минимальное содержание железа в рудах, пригодных для непосредственной плавки в домнах, должно быть таким (в %): в магнетитовых, титаномagnetитовых и гематитовых — 46—50, в буро-железняковых — 37—45, в легкоплавких сидеритовых — 30—36. Руды с более низким содержанием металла необходимо обогащать. Кондиционное содержание железа в рудах, требующих обогащения, снижается до 14—25 %.

Вредными примесями в рудах являются сера, фосфор, мышьяк, олово, цинк, свинец, медь. В зависимости от технологии переработки руд допустимое максимальное содержание этих компонентов может быть следующим (в %): серы 0,15—0,25, фосфора 0,01—1; мышьяка 0,02—0,05; олова 0,08; цинка и свинца по 0,05; меди 0,2. Присутствие в рудах карбонатов кальция и магния улучшает их качество, а избыток кремнезема — ухудшает.

* Здесь и далее, если не указано специально, приведено содержание главного металла, в данном разделе — железа.

Богатые железные руды (Fe 57 %, SiO₂ 8—10 %, S, P 0,15 %) идут на изготовление стали, минуя доменный процесс; они могут непосредственно поступать в конвертерное, мартепновское или бессемеровское производство. Наиболее богатые железные руды (Fe 68 %, SiO₂ 2 %, S, P 0,01 %) используются для получения металлизированных окатышей, которые затем передают в электросталеплавильное производство.

Запасы и добыча. Мировые ресурсы железных руд практически неограничены. Общие запасы их составляют 350 млрд т, разведанные оцениваются в 185 млрд т. За рубежом основные запасы железных руд приходятся на КНР, Бразилию, Канаду, Индию, США и Австралию. В СНГ насчитывается около 1/3 общих и разведанных мировых запасов руд. Более 80 % их сосредоточено на Украине, в центральных районах европейской части страны, в Казахстане, на Урале. Районы Сибири и Дальнего Востока недостаточно обеспечены разведанными запасами железных руд. К весьма крупным в СНГ относятся железорудные месторождения с запасами более 1 млрд т, к крупным — от 300 млн т до 1 млрд т, к средним — от 50 до 300 млн т, к мелким — с запасами менее 50 млн т.

Мировая добыча железных руд составляет в настоящее время около 900 млн. т и осуществляется более чем в 50 странах. В крупных размерах ведется добыча в Австралии, США, Бразилии (от 75 до 100 млн. т в каждой), Канаде, Индии, Франции, ЮАР, Швеции, Либерии. СНГ по добыче железных руд занимает первое место в мире (245 млн т). Основной объем добычи (72,2 %) приходится на метаморфогенные железистые кварциты и совместно залегающие с ними богатые окисленные железные руды. Доля в добыче магнетитовых руд составляет 19 %, титаномагнетитовых — 9 %, бурожелезняковых и сидеритовых — 4 %.

Мировые цены на товарную железную руду изменяются от 16 до 20 долл. за 1 т (с доставкой покупателю), на окатыши достигает 30 долл. за 1 т.

Типы промышленных месторождений

Железорудные месторождения встречаются во всех генетических группах, но ведущая роль по запасам и добыче руд принадлежит метаморфогенным и осадочным месторождениям, важное значение имеют также скарновые и магматические месторождения.

Магматические титаномагнетитовые и ильменит-титаномагнетитовые месторождения приурочены к массивам основ-

ных и ультраосновных изверженных пород и контролируются зонами крупных глубинных разломов. Рудные тела представлены крупными гнездами, линзо- и жиллообразными залежами. Руды имеют массивные и вкрапленные текстуры и состоят из титаномагнетита, ильменита, магнетита; сопутствующими минералами являются оливин, пироксен, плагиоклазы, серпентин. В массивных рудах содержание основных компонентов следующее (в %): железа 50—55, титана 8—12, ванадия 0,5—1; характерны низкие содержания серы и фосфора. Запасы руд варьируют от 100 млн т до 2 млрд т. Крупные месторождения данного типа расположены в СНГ на Урале (Кусинское, Качканарское, Гусевогорское, Первоуральское), Карелии (Пудожгорское); Забайкалье (Чинетское), за рубежом в США (Тегавус), Канаде, Швеции (Таберг), Норвегии (Телнесс).

Магматические (карбонатитовые) апатит-магнетитовые месторождения локализуются в пределах щелочно-ультраосновных интрузивов и тесно связаны с зонами разломов. Железорудные тела образованы преимущественно апатит-форстеритовыми породами с обильной вкрапленностью, жилами и прожилками магнетита, включениями редкометалльных минералов. К рассматриваемому типу в СНГ относятся месторождения на Балтийском щите (Ковдорское), а за рубежом — на Африканской платформе (Люлекоп, ЮАР; Дорова, Зимбабве; Сукулу, Уганда), в Канаде и Бразилии.

Гидротермальные вулканогенные месторождения, связанные с траппами Сибирской платформы, локализуются в палеозойских отложениях ее чехла — карбонатных и песчано-сланцевых, а также в скарнированных интрузивных породах. Область распространения месторождений пространственно совпадает с площадью развития платформенных осадков, содержащих галогенные отложения. Характерной особенностью месторождений является приуроченность их к своеобразным структурным элементам — вулканическим трубкам, заполненным туфобрекчиями. Массивные, вкрапленные и брекчиевидные руды формируют жилы, штоки и штокверковые зоны в пределах вулканических трубок вдоль зон нарушений. Рудообразующий магнетит содержит примесь магнезии и относится к магномагнетиту. Содержание железа в рудах в зависимости от типа текстур варьирует от 27 до 60 %. Запасы руд на месторождениях составляют обычно сотни миллионов тонн. На Сибирской платформе выделяется ряд железорудных районов, в пределах которых наиболее крупными месторождениями являются Коршуновское, Рудногорское, Нерюндинское, Татарское.

Скарновые магнетитовые и кобальт-магнетитовые месторождения формируются на контакте карбонатных пород с умеренно-кислыми гранитоидами, сиенитами, порфиритами и другими породами. Они приурочены к зонам разломов и интенсивной трещиноватости. Рудные тела представлены гнездами, линзами, штоками и пластообразными залежами сплошных и вкрапленных магнетитовых руд. Вещающими являются карбонатные, вулканогенные, реже интрузивные породы. Содержание железа в зависимости от типа текстур колеблется от 20 до 70 % (обычно 40—50 %), серы до 3 %. В качестве ценной примеси присутствует кобальт. Руды сложены магнетитом, мартитом, гематитом, пиритом, пирротинном, халькопиритом, сфалеритом, галенитом. Среди нерудных минералов главную роль играют кальцит, кварц, гранаты, эпидот, хлорит, серпентин. Запасы месторождений обычно не превышают 100 млн т, реже достигают 1 млрд т.

Месторождения данного типа широко распространены в СНГ на Урале (Высокогорское, Гороблагодатское), в Казахстане (Соколовское, Качарское), Западной Сибири (Таштагольское, Абаканское), на Кавказе (Дашкесан). За рубежом крупные скарновые железорудные месторождения известны в США (Айрон-Спрингс, Адирондак), Италии, Болгарии, Румынии (Банат), Марокко (Риф), Японии, КНР.

Метаморфизованные гематит-магнетитовые месторождения, содержащие подавляющую массу мировых запасов и дающие до 60 % мировой добычи, представлены докембрийскими толщами железистых кварцитов и связанными с ними телами богатых руд, приуроченных к древней метаморфизованной коре выветривания кварцитов. Железистые кварциты по минеральному составу, степени метаморфизма и текстурным особенностям подразделяются на джеспилиты, роговики и такониты. К главным минералам этих пород относятся кварц, магнетит, гематит, амфиболы, пироксены, хлорит и биотит. Содержание железа изменяется от 20 до 45 %; характерны низкие содержания серы и фосфора, хорошая обогатимость руд. Запасы железистых кварцитов на месторождениях составляют десятки-сотни миллиардов тонн.

Богатые руды развиты в пределах плащеобразных и линейных залежей. Первые принадлежат к типичным корам выветривания. Они несогласно перекрывают крутопадающие пласты железистых кварцитов. Линейные залежи — это уходящие на глубину клинообразные рудные тела значительной мощности,

расположенные среди железистых кварцитов. Они возникли в зонах разломов, трещиноватости, смятия и дробления в процессе метаморфизма. Богатые руды плащеобразных залежей сложены мартитом, магнетитом, гематитом, гидроксидами железа, глинистыми минералами. Руды линейных залежей состоят из магнетита, гематита (железной слюдки), амфиболов, пироксенов, кварца и карбонатов. Богатые руды характеризуются высоким содержанием железа (55—70 %) и низким серы и фосфора. Их запасы на месторождениях данного типа достигают миллиардов тонн.

Метаморфогенные железорудные месторождения в СНГ выявлены на Кольском полуострове и в Карелии (Оленегорское, Костомукшское), в бассейне КМА (Коробковское, Лебединское, Стойленское, Михайловское, Яковлевское и др.), Криворожском железорудном бассейне (Ингулецкое, Скелеватское, Первомайское и др.), Казахстане (Карсакпайская группа), Приморье (Малый Хинган). За рубежом месторождения этого типа широко распространены в КНР, КНДР, Индии (Бихар, Орисси), Австралии (Хамерсли), ЮАР, Либерии (Нимба), Канаде (Лабрадор), США (оз. Верхнее), Бразилии.

Вулканогенно-осадочные магнетит-гематитовые месторождения располагаются в синклинальных зонах эвгеосинклинальных областей. Месторождения связаны с вулканогенными фациями и залегают среди туфов и туффинов либо приурочены к известнякам, кремнисто-карбонатным яшмовидным и аргиллитовым породам. Рудные пласты и вмещающие породы интенсивно дислоцированы, нередко прорваны гранитоидными интрузиями. Руды сложены гематитом, магнетитом, сидеритом; встречаются также пирит, арсенопирит, халькопирит, а из нерудных минералов — хлорит, кварц, халцедон и др.

К месторождениям этого типа в СНГ относятся Западный Каражал (Казахстан), Холзунское (Горный Алтай), Терсинская группа (Кузнецкий Алатау), а за рубежом — Лан, Дилль (Германия), Гара Джебилет и Мешери Абделазис (Алжир).

Месторождения выветривания образуются при латеритном выветривании основных и ультраосновных пород (остаточные) или в результате выщелачивания железа из пород и первичных руд, выноса его и отложения в зоне восстановления (инфильтрационные).

На остаточных месторождениях природно-легированных бурых железняков развиты преимущественно пластообразные залежи и покровы. Для руд характерны землистые и колломорф-

ные текстуры, а также присутствие в их составе хрома, марганца, никеля, кобальта. Содержание железа в рудах от 30 до 50 %. Масштаб запасов — от 20 млн т до 2 млрд т. В СНГ подобные месторождения имеют незначительные запасы (Халиловское, Елизаветинское на Урале, Малкинское на Кавказе), тогда как за рубежом встречаются весьма крупные месторождения — на Кубе (Моа), в Гвинее (Калун), Филиппинах, Гвиане, Суринаме.

Инфильтрационные месторождения представлены гнездами, линзами и пластообразными залежами сидерит-лимонитовых руд с обломочными, конгломератовыми и желваковыми текстурами. Рудные тела залегают среди выветрелых кремнистых пород и известняков. Содержание железа в них 30—45 %. Запасы руды — сотни миллионов тонн. В СНГ мелкие месторождения этого типа известны на Урале (Алапаевское, Синаро-Каменское). За рубежом крупные месторождения выявлены в Великобритании и Германии.

Осадочные месторождения железных руд имеют важное промышленное значение (30 % мировой добычи). Среди них различают морские и континентальные. Морские месторождения являются весьма крупными объектами; они залегают среди песчано-глинистых прибрежных осадков в геосинклинальных зонах, краевых прогибах и на платформах. Руды оолитовые по текстуре, гематитовые, гидрогетитовые и сидеритовые по составу; они образуют крупные пологопадающие пласты, линзы и залежи. Содержание железа в рудах 20—50 %; отмечается постоянная примесь марганца и ванадия. Масштабы запасов — сотни миллионов — миллиарды тонн. В СНГ к этому типу принадлежат Керченское (Крым), Аятское (Казахстан) и Нижне-Ангарское (Сибирь) месторождения. Из зарубежных объектов необходимо назвать Лотарингский бассейн в Европе (запасы 15 млрд т), месторождения США, Канады, Австралии.

К континентальным осадочным принадлежат мелкие месторождения в Тульской и Липецкой областях, Казахстане и других районах. Им присуще невысокое качество руд, малые масштабы запасов, ограниченное промышленное значение.

Горно-геологические условия месторождений железа

Качканарское месторождение (Гусевогорское и собственно Качканарское) расположены на восточном склоне Северного Урала, к северу от г. Нижний Тагил. Рудоносный Качканарский габбро-пироксенитовый массив занимает площадь 110 км².

Он имеет изометричную форму и относится к типу лакколлитов. Вмещающими plutон породами являются на восточных контактах плагиоклазовые порфиристы и эффузивные диабазы силурийского возраста, на западных — слюдяные и кремнистые сланцы ордовика. Оруденение главным образом ассоциирует с оливинитами и диаллагитами. Пироксениты и перидотиты почти безрудные (рис. 3.1).

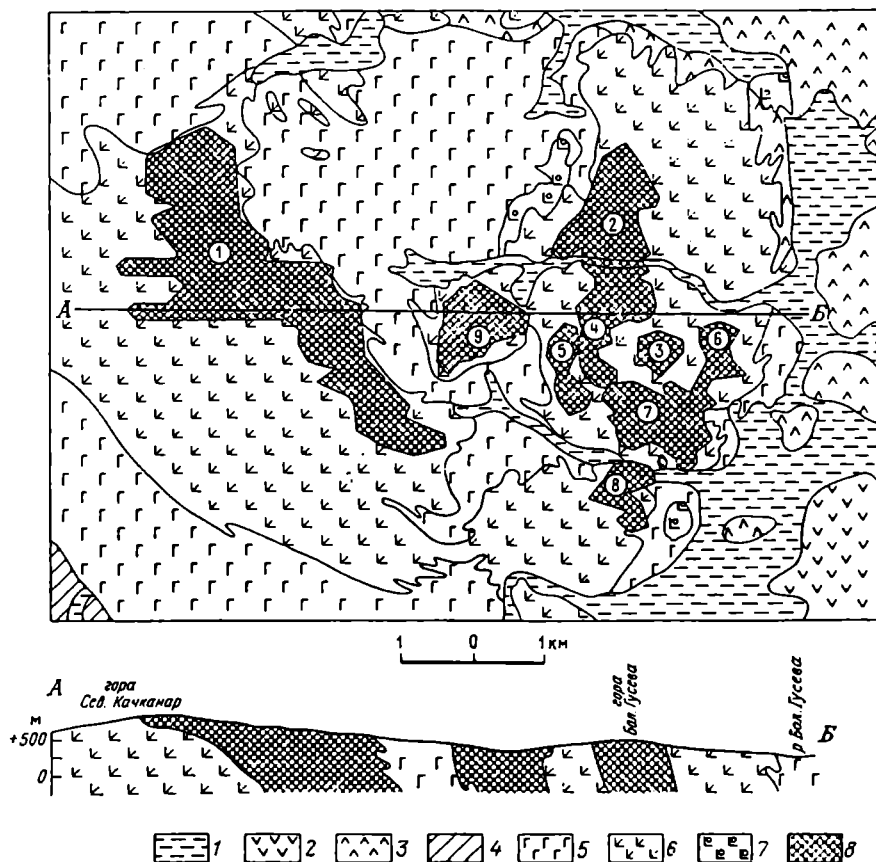


Рис. 3.1. Схема геологического строения района титаномагнетитовых месторождений Гусевогорское и Качканар. По З. Рупасовой.

1 — аллювий; 2 — порфиристы; 3 — амфиболиты; 4 — альбит-хлоритовые и другие сланцы ордовика; 5 — габбро; 6 — пироксениты; 7 — горнблендиты; 8 — рудные залежи. Цифры в кружках: 1 — месторождение Качканар, 2 — Гусевогорское месторождение; 3—9 — участки Гусевогорского месторождения

Качканарский пироксенитовый массив вытянут в северо-восточном направлении на 5,5 км, средняя его ширина 3,2 км. Гусевгорский пироксенитовый массив, частично сложенный перидотитами, горнблэндитами и габбро, вытянут в меридиональном направлении на 6,5 км при ширине 1—3,5 км. В пределах Гусевгорского месторождения выделяется девять рудных залежей, из которых эксплуатируется Главная залежь; площадь кондиционного оруденения последней 1,1 км². В контуре промышленного оруденения имеются слаборудные (некондиционные) и безрудные участки, обычно изометричные, площадью от 1000 до 2200 м². Оруденение распространяется на глубину более 500—600 м; скважины, пройденные до этих глубин, не вышли из кондиционных руд.

Как рудные, так и безрудные пироксениты пересечены многочисленными дайками роговообманковых и кварцевых плагиоклазов мощностью до 2 м с разнообразным простиранием и падением под углами 20—90°.

Рудные тела образованы, в основном, вкрапленностью титаномагнетита. Руды месторождения подразделяются на пять природных типов: крупно — (более 3 мм), средние — (1—3 мм), мелко — (0,2—1 мм), тонкозернистые — (0,05—0,2 мм) и дисперсно-вкрапленные (менее 0,05 мм).

Основным рудным минералом является титаномагнетит со структурой распада твердого раствора, содержащий 2—18 % ильменита. Титаномагнетит содержит изоморфную примесь ванадия. Второстепенные рудные минералы — пирит, пирротин, реже халькопирит, борнит. Нерудные минералы представлены пироксенами, амфиболами, оливином, серпентином, плагиоклазами и др.

Руды характеризуются низким содержанием полезных компонентов (масс. доля, %): Fe 15—18, при колебании от 14 до 34 (кондиционное более 14 %), TiO₂ 0,8—2, V₂O₅ 0,05—0,31; платина — десятки доли грамма на тонну; фосфор и сера практически отсутствуют.

Общие запасы железных руд составляют 7,35 млрд т. Руды легкообогатимы. Извлечение железа в концентрат составляет 66,4 %. Титан и ванадий получают попутно при металлургическом переделе руд.

Ковдорское месторождение расположено в юго-западной части Кольского полуострова среди архейских гранито-гнейсов с характерной структурой центрального типа с кольцевой формой и почти вертикальным падением пород и руд. Массив

площадью 40 км² сложен ультраосновными, щелочными породами и карбонатитами, залегающими среди биотит-олигоклазовых гнейсов и гнейсо-гранитов, мигматитов беломорской серии архея фундамента Балтийского щита.

Ковдорское месторождение локализовано в виде рудной залежи на участке сочленения фенитов, ийолитов и пироксенитов, которые являются вмещающими породами (рис. 3.2). Главная рудная залежь имеет вытянутую форму с неправильными контурами и приурочена к зоне крутопадающего субмеридионального разлома. Размеры главной залежи 1,3×(0,2÷0,8) км, площадь 0,8 км², падение рудных тел 70—90°. В поле месторождения выделяются южная изометричная часть залежи (600×800 м) и северная, имеющая вид субмеридиональной апофизы южной части длиной около 600 м и шириной до 250 м.

Основными минералами комплексных руд месторождения являются: магнетит (38 %), апатит (16 %), форстерит (22 %), кар-

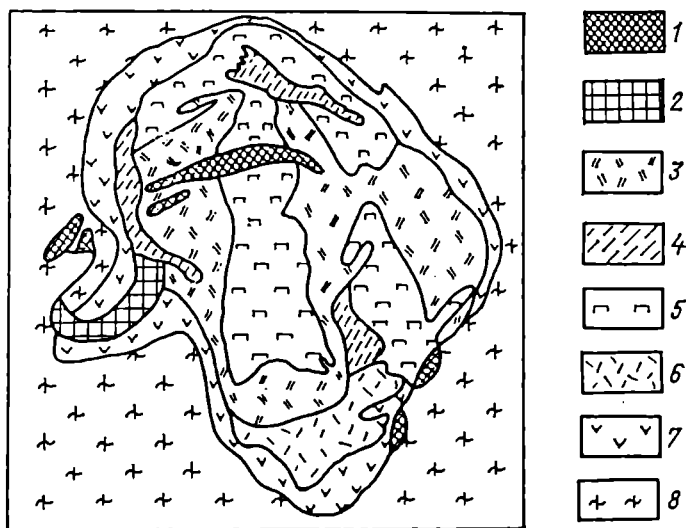


Рис. 3.2. Схема геологического строения Ковдорского массива

(по В.И. Терновому, Б.Н. Сулимову, Б.В. Афанасьеву с упрощениями:

1 — карбонатиты; 2 — железные руды; 3 — флогопитизированные оливиниты; 4 — гранатовые породы; 5 — оливиниты, пироксениты; 6 — слюдиты; 7 — ийолиты, ийолит-уртиты; 8 — граниты, гнейсо-граниты

бонаты (14 %). Главные особенности рудных минералов, определяющие их технологические свойства, — засорение магнетита изоморфными и механическими примесями; ассоциация апатита с карбонатными минералами, мелкозернистый характер бадделеита и низкие его концентрации в рудах.

На месторождении выделено четыре природных типа руд:

- 1) комплексные бадделеит-apatит-магнетитовые руды (КЖР);
- 2) маложелезистые апатитовые руды (МЖР);
- 3) руды аномальной зоны (АЗ);
- 4) апатит-штаффелитовые руды (АШР).

В настоящее время сырьем для обогащательных фабрик служат смеси комплексных (КЖР) с содержанием железа общего более 15 % и маложелезистых руд (МЖР), с содержанием железа менее 15 % и содержанием P_2O_5 не менее 3 %. В целом оба типа руд представляют собой единый геологический вид комплексных руд. Запасы КЖР и МЖР находятся в соотношении 3:1.

Комплексные железные руды (КЖР) месторождения неоднородны по минеральному составу, текстурно-структурным особенностям и технологическим свойствам.

По преобладанию среди нерудных минералов силикатов и карбонатов, руды подразделяются на силикатные: форстерит-магнетитовые (ФМ), апатит-форстерит-магнетитовые (АФМ), апатит-форстеритовые или апатит-силикатные (АС), и карбонатные: апатит-карбонатные (АК), апатит-кальцит-магнетитовые (АКМ), кальцит (доломит)-форстерит-магнетитовые (КФМ). Текстуры руд полосчатые.

Среднее содержание главных компонентов составляет: Fe — 24,5 %; MgO — 14 %; $CaCO_3$ — 11 %; SiO_2 — 12 %; P_2O_5 — 6,8 %; CO_2 — 6 %, S — 0,3 %; при этом среднее содержание железа в комплексных рудах — 27,5 %, в маложелезистых — 11,5 %. Обилие различного рода примесей в главном рудном минерале — магнетите, суммарное количество которых в виде оксидов составляет 7—12 % (MgO, Al_2O_3 , TiO_2 , MnO, V_2O_5 , ZrO и др.), определяет их металлургическую ценность и уникальность. Разведенные запасы магнетитовых руд составляют 700 млн т.

В гидрогеологическом отношении на месторождении выделяются два горизонта подземных вод — четвертичных отложений и коренных пород. Подземные воды верхнего водоносного горизонта приурочены к четвертичным отложениям различных генетических типов: аллювиальным, озерно-ледниковым и флювиогляциальным пескам различной крупности, гравийно- и валунно-галечниковым породам, а также моренным образовани-

ям. Озерно-ледниковые гравийно-галечниковые отложения мощностью от 6—15 до 20—25 м имеют дебит до 10—15 л/с; моренные — 1,6 л/с, коэффициент фильтрации — 4,5 м/сут.

Нижний водоносный горизонт развит в коренных выветрелых и трещиноватых породах архей-палеозойского комплекса. По характеру трещиноватости и степени проницаемости среди коренных пород выделены четыре зоны: 1) зона дезинтеграции до глубины 18—20 м, коэффициент фильтрации 3—5 м/сут; 2) зона сильной трещиноватости до глубины 40—55 м, коэффициент фильтрации 1 м/сут; 3) зона слабой трещиноватости до глубины 55—80 м, коэффициент фильтрации 0,26 м/сут; 4) зона замедленного водообмена ниже глубины 80 м, коэффициент фильтрации 1,2—0,3 м/сут.

По химическому составу подземные воды четвертичных отложений и коренных пород практически идентичны и относятся к ультрапресным с общей минерализацией до 0,2 г/л гидрокарбонатно-кальциево-натриевого типа.

Породы и руды месторождения устойчивые, месторождение отрабатывается открытым способом.

Сарбайское месторождение — одно из самых крупных в Кустанайской области. Месторождение приурочено к зоне контакта вулканогенно-осадочной толщи карбона с массивом диоритов, осложненной продольными и поперечными разрывными нарушениями. Три пластообразные рудные залежи меридионального простирания и западного падения ($< 45\text{--}65^\circ$) образовались в результате метасоматического замещения карбонатных пород (рис. 3.3); длина их 1550—2000 м, мощность 100—80 м.

Вмещающие породы интенсивно ороговикованы и скарнированы. Среди скарнов выделяются скаполитовые, гранатовые, гранат-пироксеновые, актинолитовые и др.

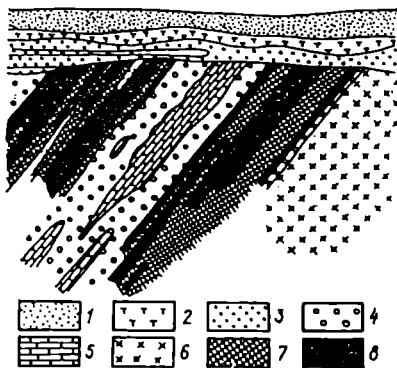


Рис. 3.3. Геологический разрез Сарбайского месторождения (по И.А. Кочергину и В.А. Адатчуку):

1 — пески, сланцеватые глины; 2 — ополка; 3 — кварцевые пески и песчаники; 4 — скарны; 5 — ороговикованные карбонатные породы; 6 — порфиры; 7—8 — руды: 7 — скарновые, 8 — магнетитовые

Руды представлены в основном двумя типами: массивными магнетитовыми и рудоносными скарнами. Первые из них составляют 40 % всех балансовых запасов месторождения. Они состоят из магнетита, гематита, мушкетовита, пирита, халькопирита, местами в них присутствуют пирротин, арсенопирит, сфалерит, галенит и минералы скарнов. В таких рудах среднее содержание Fe 54,9 %, S 4,3 %, P 0,139 %. Магнетитовые скарны состоят из магнетита, сульфидов и скарновых минералов. В них содержание Fe 20—50 %, S 2,9—3,2 %, P 0,12—0,14 %. В таких рудах заключено 60 % всех запасов месторождения. Руды Сарбайского месторождения содержат повышенные количества кобальта (в сульфидах), никеля, меди и других элементов. Разведанные запасы руд на месторождении составляют 709 млн т при среднем содержании 45,6 % железа.

Крепость руд вмещающих пород по М. Протодяконову — 10—14. Руды и породы устойчивые. Средняя плотность руд 3,2—3,6 т/м³. Влажность 1—2 %. Коэффициент разрыхления 1,4—1,6.

Разработка месторождения ведется открытым способом. Бедные и средние руды обогащаются. Все руды, включая и богатые, подвергаются агломерации с целью их обессеривания.

Кахарское месторождение магнетитовых руд расположено в 40 км севернее Соколовско-Сарбайского рудного поля. В геологическом строении месторождения принимают участие два комплекса пород — палеозойский, в состав которого входят рудные залежи и мезо-кайнозойский мощностью до 200 м, перекрывающий породы и руды палеозойского комплекса (рис. 3.4).

Комплекс палеозойских пород представлен: 1) осадочно-вулканогенной свитой пород раннекарбонového возраста. Эта свита, непосредственно вмещающая оруденение, сложена мраморизованными известняками, конгломератами, песчаниками, алевролитами, аргиллитами, альбитофирами, туфами и туфобрекчиями. Значительная часть этих пород частично или полностью замещена магнетитовыми рудами; 2) дорудными и пострудными гранит-порфирами; 3) скарнами и рудами, образованными в зоне контакта гранит-порфиров с породами осадочно-вулканогенной толщи; 4) дайками диабазовых порфиритов и альбитофиров.

На месторождении установлено три крупных разрывных нарушения типа сбросо-сдвигов — Северный, Центральный и Южный. Все нарушения сопровождаются зонами дробления.

На месторождении выделены два участка — Северный и Южный, разделенные сбросом и резко различающиеся как по форме оруденения, так и по составу слагающих их руд. На Северном участке сосредоточена основная масса разведанных запасов месторождения (90 % общих запасов категорий А+В+С). Рудная зона имеет пластообразную форму и залегает согласно с вмещающими породами осадочно-вулканогенной толщи. По простиранию рудная зона имеет протяженность около 2200 м, ширина ее изменяется от 650 м на флангах до 1200 м в центре. Мощность зоны оруденения изменяется от 200 до 350 м, составляя в среднем 300 м.

Рудная зона характеризуется наличием двух типов складок — антиклинальных и синклинальных, оси которых простираются в направлении с юго-запада на северо-восток и погружаются в северо-восточном направлении. Залежи, слагающие зону оруденения, имеют различные углы падения, так в центральной

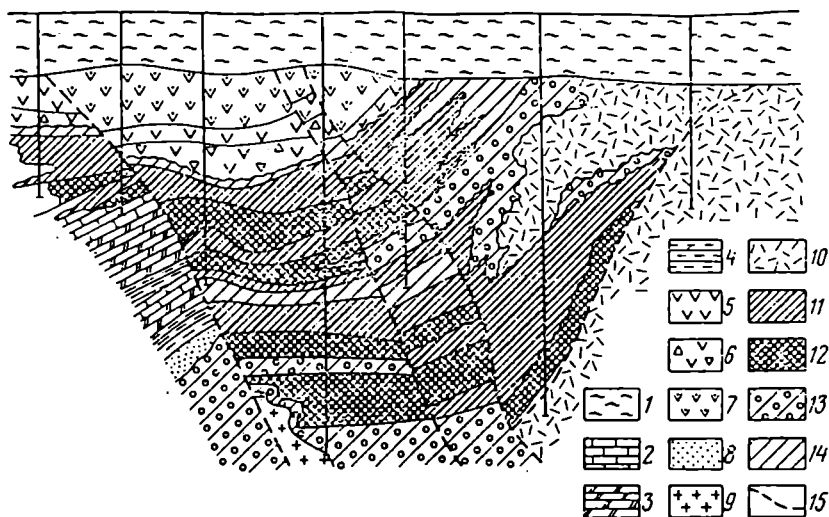


Рис. 3.4. Геологический разрез Качарского месторождения.

По Н. Беляшову:

1 — мезо-кайнозойские отложения; 2 — известняки; 3 — ангидриты; 4 — туфиты; 5 — андезитовые порфириты; 6 — туфы среднего состава; 7 — андезит-базальтовые порфириты; 8 — песчаники и туфопесчаники; 9 — гранит-порфиры; 10 — кварцевые порфиры; 11 — вкрапленные руды; 12 — массивные руды; 13 — пироксен-скаполитовые метасоматиты; 14 — скаполитовые метасоматиты; 15 — тектонические нарушения

части складок они залегают почти горизонтально, а на крыльях падают под углом от 15—20° до 40—45°.

Рудная зона Южного участка представляет собой изогнутую в плане толщу, простирающуюся в направлении с юго-востока на северо-запад и падающую под углом 60° на северо-восток. Протяженность рудной зоны Южного участка по простиранию составляет около 650 м, а по падению 400 м. Мощность зоны оруденения изменяется от 140 до 250 м, в среднем 200 м.

Главными рудными минералами являются магнетит (90—60 % от общего количества), гематит, халькопирит, сфалерит, пирротин, галенит. Из нерудных минералов главный скаполит, присутствующий в рудах в виде зернистых агрегатов, отдельных крупных кристаллов и друз. Кроме скаполита присутствуют также альбит, хлорит, кальцит, гранат, пироксен и др. Текстуры руд массивные и вкрапленные. Структуры полнокристаллические. По качеству руды разделяются на богатые, бедные и убогие. Характер распределения железа в рудах от равномерного до весьма неравномерного (коэффициент вариации изменяется от 30 до 125 %).

Гидрогеологические условия Качарского месторождения весьма сложные. На месторождении выделены пять водоносных горизонтов, четыре из которых приурочены к отложениям мезо-кайнозоя и один (пятый) к палеозойскому комплексу пород.

Первый водоносный горизонт грунтовых вод приурочен к четвертичным супесям и олигоценовым глинистым пескам. Горизонт безнапорный, глубина залегания уровня подземных вод от 0,5 до 6—8 м, коэффициент фильтрации 0,05—0,38 м/сут.

Второй водоносный горизонт приурочен к толще опок и песчаников. Горизонт напорный, напор изменяется от 26 до 70 м. Общая мощность водосодержащих пород от 55 до 70 м. Коэффициент фильтрации изменяется от 0,002 до 0,1 м/сут.

Третий водоносный горизонт заключен в неравномерно-зернистых песчаниках и мелкозернистых песках верхнемеловых отложений. Воды горизонта напорные, напор под кровлей водоносного горизонта изменяется от 83 до 100 м. Коэффициент фильтрации не превышает 0,009 м/сут.

Четвертый водоносный горизонт приурочен к пескам и конгломератам ниже-верхнемеловых отложений мощностью от 1 до 40 м. Воды горизонта напорные, напор 103—137 м. Коэффици-

ент фильтрации составляет 1 м/сут. Нижним водоупором водоносного горизонта служат глины коры выветривания или коренные породы палеозоя.

Пятый водоносный горизонт заключен в палеозойском комплексе пород. Воды трещинного типа циркулируют по трещинам выветривания, по зонам тектонических нарушений и

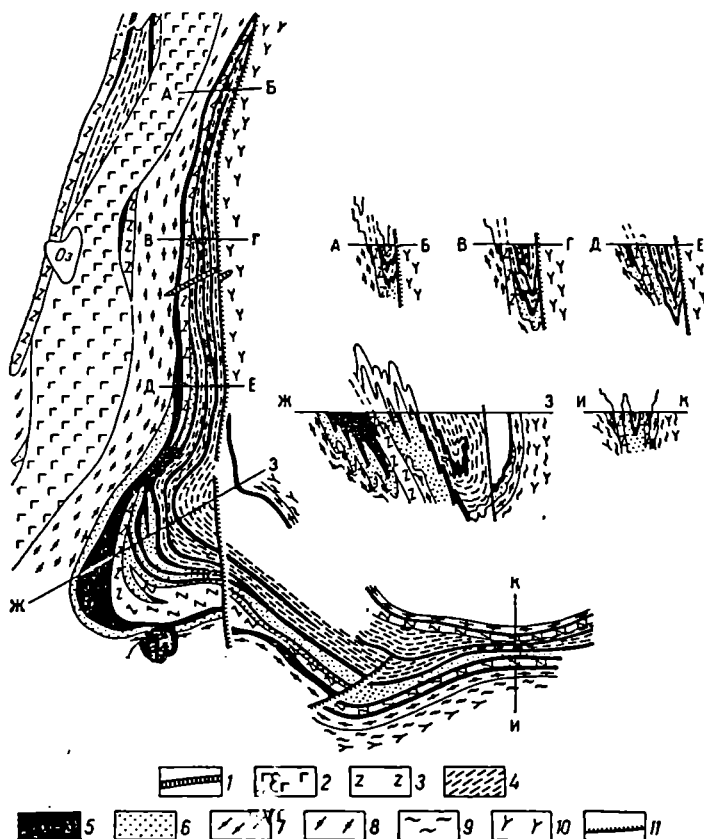


Рис. 3.5. Схема геологического строения Костамукшского месторождения. По Ю. Лазареву:

1 — габбро оливковые, габбро-нориты; 2 — габбро-амфиболиты; 3 — плагио-порфиры; 4 — лепитовидные гнейсо-сланцы и биотит-кварцевые кристаллические сланцы; 5 — железистые кварциты; 6 — внутриформационные конгломераты, грауважки и слюдяные сланцы; 7 — амфиболовые и кварц-амфиболовые сланцы; 8 — нерасчлененные амфиболовые сланцы и амфиболиты; 9 — реликты толщи гранитизированных биотитовых гнейсов; 10 — гранито-гнейсы основания, переработанные раннепротерозойскими гранитами; 11 — тектонические нарушения

карстовым пустотам. Горизонт напорный, напор 83—188 м. Коэффициент фильтрации изменяется по горизонту от 0,08 до 0,15 м/сут.

Крепость руд по М. Протодяконову составляет — 10—14; вмещающих осадочных пород (известняки, конгломераты, песчаники) 10—12; вмещающих эффузивных и интрузивных пород 10—17; породы вскрыши (пески, глины, опоки, песчаники) 3—6. Руды и вмещающие породы устойчивые. Средняя плотность руд: — богатых магнетитовых 3,8 т/м³, бедных магнетитовых — 3,2 т/м³.

Костомукишское месторождение расположено в Карелии. В геологическом строении месторождения принимает участие метаморфический комплекс пород нижнего протерозоя, перекрытый плащом четвертичных ледниковых отложений мощностью от 0 до 40 м, в среднем 7 м. В метаморфическом комплексе пород выделяются: нижняя толща, представленная филлитовидными талько-хлоритовыми и амфиболитовыми сланцами; собственно толща железистых кварцитов с прослоями филлитовидных и амфиболовых сланцев; верхняя толща метаморфизованных пачек железистых кварцитов и кристаллических сланцев (рис. 3.5). Под толщей четвертичных отложений развита локально зона физического выветривания руд и пород, характеризующаяся повышенной трещиноватостью, мощностью 5—10 м, местами до 50 м.

Толща железистых кварцитов общей протяженностью 15,6 км условно разделена в процессе разведки на три участка: Северный, Центральный и Южный. Северный участок, являющийся северным флангом месторождения, прослеживается в близмеридиональном направлении на 5,6 км; ширина рудной зоны 200—400 м, углы падения пород и рудных тел изменяются в пределах 70—85°, направление падения западное. Центральный участок имеет протяженность 5 км и ширину рудной зоны 2,1 км; углы падения пород и рудных тел составляют 50—55°, падение западное. Южный участок является естественным продолжением Центрального участка и прослеживается в близмеридиональном направлении на 6,7 км при ширине рудной зоны 550—1300 м; падение пород и рудных тел северное под углами 50—60°.

В толще железистых кварцитов выделены «Основная залежь» и «Залежь переслаивания», приуроченная к висячему боку «Основной залежи» и отделенная от нее толщей вмещающих пород. «Основная залежь» представлена одним рудным телом и

имеет длину по простиранию 12,5 км при мощности от 13 до 70—100 м на Северном и Южном участках, а на Центральном — 220—270 м. «Залежь переслаивания» представлена рудоносной зоной мощностью от 200 до 700 м и включающей в себя со стороны висячего бока «Основной залежи» 20 относительно мелких рудных тел и 4 рудных тела со стороны лежачего бока. Выделяемые в ней рудные тела имеют длину от 300 м до 6,4 км и мощность от 3 до 60 и более метров.

Руды месторождения имеют следующий минеральный состав (в %) — магнетит 30—47, гематит 0,1—12,5, лимонит 0,05—1, сидерит 0,35—1,1, сульфиды 0,2—1,2, кварц 34—42, амфиболы 6—21, биотит, хлорит 3—14, карбонаты 1—15,5, полевые шпаты 0,3—2,5, апатит 0,2—0,3. По текстурно-структурным особенностям различают зернисто-полосчатые разновидности руд от мелкозернистых неясно полосчатых до крупнозернистых грубополосчатых разновидностей. По минеральному составу железистые кварциты подразделяются на амфиболо-магнетитовые и биотито-магнетитовые, в которых среднее содержание железа соответственно составляет 30,8 и 34,3 %. Руды имеют практически одинаковые показатели обогащения.

К основным компонентам, помимо железа растворимого, валового и магнетитового, характеризующих качество руд, относятся сера и фосфор. Содержание серы составляет 0,5—1 %, фосфора — от 0,005—1 %. Распределение основных компонентов в рудах от равномерного до крайне неравномерного.

В районе месторождения распространены два типа подземных вод — поровые воды, приуроченные к рыхлым четвертичным отложениям и трещинные воды в скальных породах докембрия. Поровые и трещинные воды гидравлически взаимосвязаны и образуют единый водоносный комплекс. Водообильность и водопроницаемость четвертичных отложений невелика. Удельный дебит скважин 0,002 л/с, а коэффициент фильтрации — 0,6 м/сут. Водопроницаемость и водообильность коренных пород зависит от их трещиноватости. Подземные воды коренных пород, в основном безнапорные, коэффициент фильтрации — 0,14 м/с.

Крепость руд по М. Протодьяконову 12—14, коренных пород 11—12. Средняя плотность руд 3,2—3,4 т/м³, пород — 2,8 т/м³. Влажность руд и пород 1—2 %. Месторождение отрабатывается открытым способом.

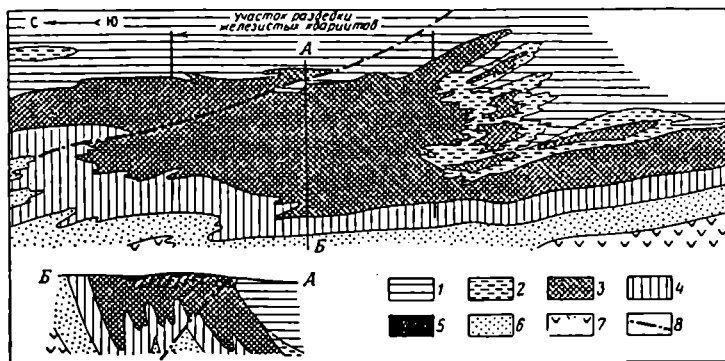


Рис. 3.6. Схема геологического строения докембрия Михайловского месторождения. По В. Палищуку:

1 — метаморфизованные кварцевые порфиры, их туфы и туффиты, песчаники, брекчии курбакинской свиты; 2—4 — породы курской серии: 2 — сланцы и алевролиты верхнего отдела, 3 — железистые кварциты среднего отдела, 4 — сланцы нижнего отдела; 5 — богатые железные руды; 6 — метапесчанники и кварциты с прослоями сланцев; 7 — амфиболиты, метабазиты, силикатные сланцы, прослои кварцитов михайловской серии; 8 — тектоническое нарушение

Михайловское месторождение Курской магнитной аномалии находится в 110 км северо-западнее г. Курск.

На площади месторождения вскрыты породы архейского и протерозойского возраста (рис. 3.6). Архейские породы представлены гнейсами, плагиоклазовыми гранитами и мигматитами; протерозойские образования — породами михайловской (условно) и курской серий. Михайловская серия (мощность до 3 км) сложена преимущественно амфиболитами с подчиненными им кварцитами и метапесчаниками, тальк-карбонатными породами, метадиабазами и серпентинитами. Курская серия представлена нижней песчано-сланцевой свитой мощностью 500—1000 м, средней железорудной, сложенной железнослудково-магнетитовыми, магнетитовыми и слабородными кварцитами общей мощностью 500—600 м; верхней свитой, образованной кварц-серицитовыми филлитовидными и углистыми сланцами с прослоями доломитов, общей мощностью до 700 м; курбакинской свитой, представленной метаморфизованными кварцевыми порфирами, их туфами, туффитами, песчаниками общей мощностью 1000 м.

Из магматических пород протерозойского возраста установлены плагиоклазовые граниты и мигматиты, залегающие в виде пластообразной залежи на границе архея и протерозоя.

В структурном отношении Михайловское месторождение приурочено к крупному массиву железистых кварцитов на западном крыле Михайловской синклинальной структуры, где пласты кварцитов собраны в серию сжатых складок с крутым (60—80°) восточным падением основных плоскостей.

Покрывающая осадочная толща сложена отложениями девонского, юрского, мелового, палеогенового и четвертичного возраста, представлена глинами, известняками, песками и суглинками. Мощность осадочных пород в центральной части месторождения составляет 35—40 м, а на флангах — 110—114 м.

На площади месторождения установлены две плащеобразные залежи богатых железных руд — Веретенинская и Остаповская, площадью соответственно 1,6 и 1,7 км, средней мощностью 13 и 9,5 м и средней мощностью покровных отложений 90 и 100 м. Обе залежи отличаются извилистыми контурами и большим количеством безрудных окон и пережимов. Подошва их местами карманообразная. Железистые кварциты подстилают залежи богатых железных руд. Границы богатых руд с окисленными железистыми кварцитами в большинстве случаев резкие, но иногда имеют переходную зону мощностью до метра.

В соответствии с геологическим строением на месторождении различают богатые железные руды и руды железистых кварцитов.

По минеральному составу в богатых рудах выделяются гематит-мартитовые и карбонат-мартитовые руды.

Главными минералами гематит-мартитовых руд являются мартит, гематит, кварц, гидроксиды железа; второстепенными — сидерит, кальцит, арагонит, пирит, хлорит, каолинит. Главными минералами карбонат-мартитовых руд являются — мартит, гематит, гидроксиды железа, сидерит, кальцит, кварц, арагонит, второстепенными — пирит, марказит, хлорит, каолинит.

Гематит-мартитовые руды являются наиболее богатыми. Содержание железа в них колеблется от 45 до 69 %, наиболее распространено содержание в интервале 55—66 %; содержание

в рудах SiO_2 1—8 %, S 0,24—0,32 %, P 0,03—0,05 %. Карбонат-мартитовые руды более бедные. Содержание железа в них 41—55 %; содержание в рудах SiO_2 0,36—24,2 %, S 0,1—1,5 %, P 0,06—0,08 %.

Гематит-мартитовые руды, имеющие наибольшее распространение на месторождении, характеризуются рыхлостью (до сыпучих), высокой пористостью (34,2 %), повышенной влажностью (10,5 %), низкой связностью. Карбонат-мартитовые руды относятся к породам скального типа, обладают унаследованной полосчатой, плейчатой, реже брекчиевидной текстурой и мелкозернистой структурой. Влажность руд около 1 %, пористость 3,7 %.

Железистые кварциты Михайловского месторождения представляют собой бедные существенно магнетитовые или смешанные гематито-магнетитовые руды. Кварциты характеризуются линейно-полосчатыми текстурами, обусловленными чередованием рудных и нерудных прослоек. Структура кварцитов мелкозернистая. Железистые кварциты представлены кварцем, магнетитом, гематитом, кальцитом, биотитом. Второстепенными минералами являются пирит, хлорит, эпидот, акцессорными — апатит, гранат, сфен, турмалин. В кварцитах содержится (масс. доля, %): Fe 37,5—39, SiO_2 40—42, S 0,01—0,07, P 0,01—0,06.

Крепость кварцитов по М.Протодяконову от 19 до 24; плотность 3,68—3,74 т/м³, пористость от 0,28 до 8 %; абразивность 3,06—3,3.

Железистые кварциты разведаны до глубины 280—330 м. На месторождении по категориям А + В + С₁ разведано 2,3 млрд т железистых кварцитов и 340 млн т богатых железных руд.

Гидрогеологические условия месторождения определяются приуроченностью его к северо-западной части Воронежской антеклизы. Подземные воды содержатся в отложениях всех систем осадочной толщи и в зоне трещиноватости пород докембрия. Водосодержащими отложениями являются пески, алевролиты, песчаники, известняки, трещиноватые породы кристаллического фундамента. Региональный верхнеюрский водоупор делит всю обводненную толщу на два гидрогеологических этажа: верхний — с активным и нижний — с затрудненным водообменами. Характеристика водоносных горизонтов приведена в таблице.

**Характеристика водоносных горизонтов
Михайловского месторождения**

Водоносный горизонт	Мощность горизонта, м	Напор над кро- влей, м	Удельный дебит, л/с	К фильтра- ции, м/сут
Современный аллювиальный	3—10	—	0,01—0,13	0,07—2,6
Средне- верхнечетвертичный	2—15	—	0,02—0,36	0,11—8,0
Турон-маастрихтский	2—7	—	0,004—0,66	0,08—7,5
Альб-сеноманский	0—35	3—12	0,001—2,60	3,00—14,2
Бат-келловейский	0—53	—	0,004—1,18	0,03—12,5
Верхнешигровско- семилукский	0—20	30—40	0,03—0,49	0,16—2,6
Морсовский	0—32	68—132	0,11—2,6	0,60—17,0
Водоносная зона трещи- новатых архейско-про- терозойских кристалли- ческих пород	0—400	0—160	до 0,5—0,7	

3.2. МАРГАНЕЦ

Общие сведения

Применение. Основная часть (95 %) добываемых марганцевых руд применяется в черной металлургии в виде ферромарганца и «зеркального чугуна» благодаря свойству этого элемента придавать стали вязкость, ковкость, твердость и жаростойкость. Кроме того, добавки марганца при плавке руды способствуют более полному переходу вредных примесей в шлаки и более легкому отделению последних от металлического расплава. В среднем расход марганца достигает 1 % массы продукции сталелитейной промышленности.

Марганец используется также в производстве стекла, керамики, минеральных красителей, оксида марганца и других химических продуктов.

Геохимия и минералогия. Кларк марганца 0,1 %. Повышенные содержания его характерны для основных и ультраосновных пород. Коэффициент концентрации высокий (более 300). Марганец содержится в 150 минералах. Промышленными являются пиролюзит MnO_2 (55—63 % Mn), браунит Mn_2O_3 (60—69 %),

гаусманит Mn_3O_4 (65—72 %), манганит $MnO_2 \cdot Mn(OH)_2$ (50—62 %), псиломелан $mMnO \cdot MnO_2 \cdot nH_2O$ (40—60 %), родохрозит $MnCO_3$ (40—45 %) и манганокальцит $(Ca, Mn) CO_3$ (7—23 %).

Типы руд и кондиции. По минеральному составу выделяют руды оксидные, карбонатные и смешанные. «Сырые» руды после дробления промываются для освобождения от песчано-глинистых частиц, затем обогащаются. Оксидные и оксидно-карбонатные руды считаются кондиционными при содержании марганца не менее 17 % в необогащенном сырье и не менее 25 % в мытой руде. Минимальное содержание марганца в карбонатной руде 13 % при условии получения 22 % металла в мытой руде. К вредным примесям относится фосфор (не более 0,2 %).

Запасы и добыча. Общие мировые запасы марганцевых руд составляют 18 млрд т, в т. ч. 2,4 млрд т в СНГ, 13 млрд т в ЮАР, от 200 до 50 млн т в Габоне, Австралии, Бразилии и Индии. Запасы железо-марганцевых конкреций на дне океанов оцениваются в 1,7 млрд т. Разведанные мировые запасы руд достигают 4,2 млрд т, большая часть из них сосредоточена в СНГ (760 млн т) и Габоне (400 млн т); в ЮАР, Бразилии и Австралии разведано по 50 млн т промышленных запасов. Крупнейшие запасы марганцевых руд в СНГ находятся на Украине и в Грузии; относительно небольшие месторождения известны на Урале, в Казахстане, в Западной Сибири, на Дальнем Востоке. К весьма крупным относятся месторождения с запасами более 150 млн т, к крупным — от 75 до 150, средним — от 25 до 75 и мелким — менее 25 млн т. Уникальные месторождения имеют запасы более 1 млрд т.

Добычу марганцевых руд ведут более 30 стран. Объем мировой добычи в последние годы значительно увеличился и достиг 25 млн т; около 50 % этого количества приходится на СНГ. В значительных размерах (1,7—5,5 млн т) ведут добычу марганцевых руд ЮАР, Бразилия, Австралия, Габон, Индия. Стоимость 1 т руды около 70 долл., ферромарганца — 400 долл.

Типы промышленных месторождений

Промышленное значение имеют марганцевые месторождения следующих типов: гидротермальные; скарновые; метаморфизованные (браунит-гаусманитовые); вулканогенно-осадочные (браунит-гаусманит-псиломелановые); остаточные выветривания (пирролюзит-псиломелановые); осадочные (родохрозит-псиломелан-пирролюзитовые). В СНГ основную роль играют оса-

дочные месторождения, а за рубежом, кроме того, месторождения выветривания.

Метаморфизованные месторождения марганцевых руд формируются при региональном и контактовом метаморфизме осадочных и вулканогенно-осадочных пород докембрия. Руды слагают пласто- и линзообразные залежи, тектонически нарушенные, с неравномерным оруденением и сложной морфологией. Вмещающими породами являются гнейсы, кристаллические сланцы, кварциты, мраморы и менее измененные исходные породы. При слабом метаморфизме гидроксиды марганца замещаются оксидами — браунитом, гаусманитом и др. В СНГ небольшие месторождения этого типа известны в Казахстане. При сильном метаморфизме возникают силикаты марганца — родонит, марганецсодержащие гранат и оливин, которые вместе с браунитом и гаусманитом входят в состав рудных залежей. За рубежом крупные метаморфизованные месторождения имеются в Индии, Бразилии, Гане, ЮАР, где разрабатываются, в основном, зоны окисления. Содержание марганца в метаморфизованных месторождениях (в т. ч. и в окисленной зоне) — 15—48 %, масштаб запасов — десятки миллионов тонн.

Вулканогенно-осадочные месторождения связаны с кремнистыми, карбонатными и железистыми породами и рудами. Они формировались в областях проявления подводного вулканизма. Рудные тела представлены пластовыми залежами мощностью до 10 м с содержанием (в %): марганца 40—55, кремнезема 10; фосфора 0,3—0,06. В состав первичных руд входят браунит и гаусманит, в коре выветривания наблюдаются псиломелан и вернадит. По масштабу запасов месторождения относятся к мелким и средним. В СНГ к вулканогенно-осадочным принадлежат месторождения Атасуйского и Джездинского районов (Казахстан), Горного Алтая, Южного Урала, Кузнецкого Алатау (Мазульское, Дурновское), а также ряд мелких месторождений Хабаровского края и Кавказа.

Остаточные месторождения выветривания (марганцевые шляпы) образуются по марганецсодержащим метаморфизованным силикатным и карбонатным породам. Они представлены пласто- и линзовидными залежами в коре выветривания, распространяющимися до глубины 10—80 м при мощности отдельных пластов и линз 0,5—6 м; по простиранию залежи прослеживаются на расстояние от нескольких сотен метров до 10 км. Для руд, сложенных пирролизитом и псиломеланом, ха-

рактерны рыхлые (выщелачивания) и колломорфные (в переотложенных участках) текстуры. Содержания основных компонентов следующие (в %): марганца 30—62, кремнезема и железа от 3—5 до 15; фосфора от 0,1 до 2. Месторождения по запасам относятся к мелким, средним, реже крупным (десятки миллионов тонн). Распространены они, главным образом в Индии, Бразилии, Канаде, ЮАР, Австрии. В СНГ марганцевые шляпы имеют небольшое промышленное значение и наблюдаются на ряде коренных месторождений Урала, Казахстана и Западной Сибири.

Осадочные месторождения концентрируют более 80 % мировых запасов марганцевых руд на континентах. Руды приурочены к горизонтам кремнистых, песчано-глинистых и карбонатных пород, размещающихся в основании трансгрессивных серий осадков. Пластовые рудные тела имеют почти горизонтальное залегание, выдержанную мощность и относительно равномерный состав. Они сложены конкрециями, линзами и стяжениями марганцевых минералов с глинисто-алевритовым и песчаным материалом. По текстурам руды конкреционные, оолитовые, пористые и сажистые, по составу — пиролюзит-псиломелановые, манганитовые и карбонатные. Для всех месторождений данного типа характерно проявление зональности качественного состава руд, определяемой изменениями условий отложения марганценосных осадков в морских бассейнах. Содержание марганца в рудах 20—40 %, масштаб запасов отдельных месторождений — сотни миллионов тонн руды. Наиболее крупные месторождения осадочного типа расположены на Украине (Никольское, Больше-Токмакское) и в Грузии (Чиатурское), а также в Габоне (Моанда), ЮАР, КНР, США, Италии, Испании.

Огромные запасы марганцевых руд сосредоточены в *железомарганцевых конкрециях* и рудных корках на поверхности коренных пород дна Тихого, Атлантического и Индийского океанов. Ежегодно они возрастают на 10 млн т благодаря непрерывному формированию конкреций. Размеры конкреций в поперечнике в среднем составляют 3—7 см (от 1 мм до 1 м), толщина рудных корок достигает 10—15 см. Главные рудообразующие минералы конкреций представлены гидроксидами марганца и железа — вернадитом и гидрогетитом. США, Германия и Япония, не имеющие крупных континентальных месторождений, ведут добычу железо-марганцевых конкреций на глубинах

до 7 км. Состав конкреций (в %): марганец 25—30, железо 10—12, никель 1—2, кобальт 0,3—1,5, медь 1—1,5.

Горно-геологические условия месторождений марганца

Никопольское месторождение находится на Украине. В геологическом строении месторождения принимают участие докембрийские кристаллические сланцы, кора их выветривания, перекрытая палеогеновыми, неогеновыми и четвертичными образованиями. Докембрийские породы представлены амфиболитами, кристаллическими сланцами, мигматитами и гранитами. На неровной поверхности пород докембрия залегает кора их выветривания, имеющая мощность от первых сантиметров до 100 м. Кора выветривания представлена пестроцветными каолинами. Перекрывающая толща представлена в основном песками и глинами.

Рудный пласт мощностью от 1,5 до 6 м залегает на песчано-глинистых отложениях среднего палеогена или на размытой и неровной поверхности докембрийских гранитов и гнейсов и имеет пологое (5—7°) залегание с падением на юг. Руды перекрыты песками и глинами верхнего палеогена мощностью от 15 до 80 м.

Марганцевый пласт представлен песчано-глинистой породой с включением различных по форме, размерам и плотности марганцевых образований. По форме выделений руды различаются на следующие разновидности — конкреционно-сажистые, кусковатые и кусковато-конкреционно-сажистые, кусковато-ячеистые, оолитовые и сажистые или землистые. Главные минералы руд: пиролюзит, манганит, псиломелан. В соответствии с минеральным составом на месторождении выделяются зоны оксидных (пиролюзитовых и манганитовых), оксидно-карбонатных и карбонатных марганцевых руд. Химический состав оксидных руд следующий (масс. доля, %): MnO_2 35,7, SiO_2 34,5, CaO 2,8, MgO 1,5, Fe_2O_3 3, FeO 0,35, Al_2O_3 3,85.

Обогащение руд проводится по схеме: дробление—грохочение—промывка—повторное грохочение—отсадка мытой руды—дробление продуктов отсадки с последующей электромагнитной сепарацией.

Гидрогеологические условия месторождения характеризуются наличием нескольких водоносных горизонтов: грунтовые воды четвертичных отложений, подземные воды толщ мергелистых глин, известняков, песков и рудовмещающей толщи.

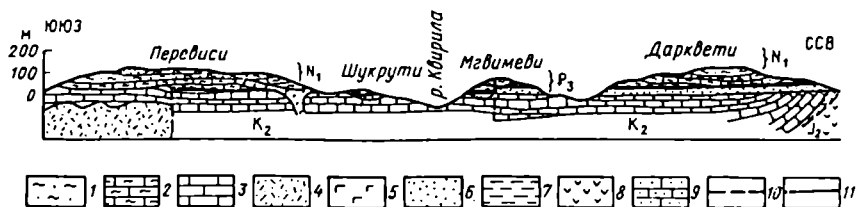


Рис. 3.7. Схематический геологический разрез центральной части Чиатурского месторождения (по Г. Авалиани, В. Табагари):

1 — песчанистые глины и глинистые пески; 2 — глинистые известняки, мергели; 3 — известняки; 4 — кислые эффузивы и их туфы; 5 — базальты; 6 — пески; 7 — глинистые сланцы; 8 — андезиты; 9 — песчанистые известняки; 10 — разрывные тектонические нарушения; 11 — марганцевый горизонт

Коэффициент фильтрации на месторождении изменяется от 0,03 до 6,7 м/сут.

Чиатурское месторождение (рис. 3.7) сложено горизонтально залегающими песчано-глинистыми породами и известняками. В разрезе марганценосного горизонта рудные пласты мощностью до 0,5 м чередуются с прослоями песков и глин мощностью до 1 м. Общая мощность горизонта достигает 14 м (средняя 4 м), число рудных пластов изменяется от 3 до 25. На месторождении выделены первичные окисдные — пиролюзитовые, манганитовые и псиломелановые (45 % запасов), карбонатные (40 %) и окисленные (15 %) руды. Содержание марганца в этих разностях составляет соответственно 45—52, 10—30 и 30—35 %. Наибольшее промышленное значение имеют окисдные пиролюзитовые руды.

3.3. ХРОМ

Общие сведения

Применение. Основными потребителями хромитов являются металлургия (65 % добычи), огнеупорная (18 %) и химическая (17 %) промышленность. Добавка феррохрома к сталям повышает их вязкость, твердость, и антикоррозионные свойства. Сплавы хрома с кобальтом, вольфрамом и молибденом служат для антикоррозионного покрытия (хромирования). Хромит используется в качестве огнеупорного материала для обкладки (футеровки) мартенов и печей для выплавки цветных металлов.

В химической промышленности хромит применяют для производства красок и дубителей кож.

Геохимия и минералогия. Кларк хрома 0,0083 %. Повышенные содержания его характерны для ультраосновных и основных пород. Коэффициент концентрации весьма высокий (около 4000). Хром входит в состав 25 минералов. Промышленное значение имеют хромиты с общей формулой $(Mg, Fe)O \cdot (Cr, Al, Fe_2O_3)$ и изменчивыми содержаниями компонентов (в %): Cr_2O_3 16—65, MgO до 16, FeO до 18, Fe_2O_3 до 30, Al_2O_3 до 33. Наиболее распространенным из хромитов является магнохромит (50—65 % Cr_2O_3), меньшую роль играют хромпикотит и аллохромит.

Типы руд и кондиции. Хромитовые руды — единственный промышленный тип руд — разделяют на богатые и бедные с минимальными содержаниями Cr_2O_3 соответственно 37 и 12 %. Бедные руды подлежат обогащению. Для производства ферросплавов используют руды с содержанием оксида хрома не менее 40 %, фосфора не более 0,07 %, серы не более 0,05 % и отношением Cr_2O_3 не менее 2,5—3. Для получения огнеупоров пригодны руды с содержанием Cr_2O_3 не менее 35 %, SiO_2 не более 8 %, CaO не более 2 %.

Запасы и добыча. Подтвержденные запасы хромитов капиталистических и развивающихся стран составляют около 3,5 млрд т. Основная часть их сосредоточена в ЮАР (3000 тыс. т) и Зимбабве (200 тыс. т). В других странах (Финляндии, Турции, Индии, Бразилии) запасы руд ограничены. Мировая (без СНГ) добыча хромитов достигает 9,8 млн т. Разработка их ведется в 14 странах — ЮАР (50 %), Турции, Филиппинах, Индии, Финляндии и др. Стоимость 1 т хромитовой руды изменяется от 45 до 125 долл.

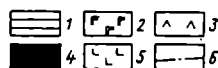
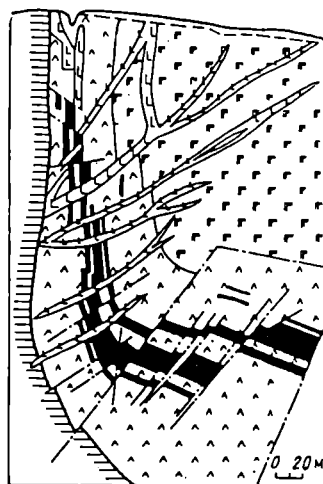
СНГ занимает первое место в мире по запасам и добыче хромитов. Основные месторождения расположены в пределах хромитоносного пояса Урала. К весьма крупным относятся месторождения с запасами более 25 млн т, к крупным — от 5 до 25 млн т, к мелким — менее 1 млн т. Уникальные месторождения имеют запасы руд сотни миллионов тонн.

Типы промышленных месторождений

Среди месторождений хромитов выделяют следующие типы: раннемагматические (для СНГ не имеют существенного значения), позднемагматические и россыпные (несущественны).

Рис. 3.8. Геологический разрез Сарановского месторождения (по Г.Г. Кравченко и др.):

1 — кристаллические сланцы; 2 — габбро и габбронориты; 3 — перидотиты; 4 — густовкрапленные и массивные хромитовые руды; 5 — жильные породы — габбродиабазы, порфириды и др.; 6 — тектонические разрывные нарушения



Раннемагматические месторождения представлены пластообразными телами хромитовых руд в расслоенных интрузивных массивах ультраосновных пород. Уникальными по запасам (более 500 млн т) являются Бушveldский массив в ЮАР и месторождения Великой Дайки в Зимбабве.

Позднемагматические месторождения хромитовых руд локализуются в пределах массивов дунитов, перидотитов, пироксенитов и вмещающих их пород. Руды слагают жилообразные и линзовидные крутопадающие тела, реже пологопадающие пластообразные залежи. Протяженность линз 20—30 м, крупных залежей — до 400—500 м. Мощность рудных тел колеблется от единиц до десятков метров. Контакты рудных тел с вмещающими породами постепенные или резкие. Текстуры руд массивные и вкрапленные. Содержание Cr_2O_3 в массивных рудах 35—52 %, во вкрапленных 5—30 %. Запасы руд на месторождениях — десятки миллионов тонн. Позднемагматические месторождения в СНГ распространены на Урале (Кемпирсайское, Алапаевское, Сарановское, Донское) и на Кавказе (Шоржинское). За рубежом месторождения известны в Албании, Греции, Турции (Гулеман), Индии, на Кубе (Каледония).

Горно-геологические условия месторождений хрома

Сарановское месторождение (Пермская область) приурочено к одноименному габбро-перидотитовому массиву протяженностью до 2 км и шириной до 200 м. Массив залегает среди позднепротерозойских кварц-слюдяных сланцев и имеет крутое падение (рис. 3.8). Рудоносная зона шириной 40—45 м включает

три жилообразных залежи, расположенные в центральной части массива. Протяженность рудных тел от 900 до 1200 м, мощность от 3 до 10 м. Они сложены массивными и густовкрапленными хромитовыми рудами, в состав которых входят оливин, пироксены, магнетит, флогопит, тальк, магнезит, кварц,

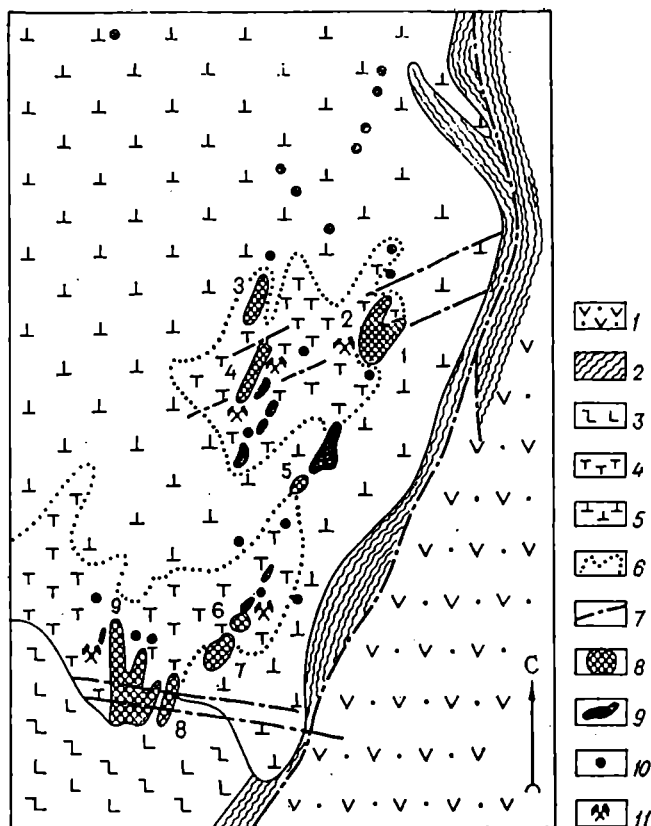


Рис. 3.9. Геологическая схема Южно-Кемпирсайских хромитовых месторождений (по Г.А. Елпашеву):

1 — палеозойские вулканогенно-осадочные отложения; 2 — протерозойские метаморфические породы; 3 — габброамфиболиты; 4 — серпентиниты по дунитам; 5 — серпентиниты по перидотитам; 6 — границы пород; 7 — разрывные нарушения; 8 — крупные хромитовые месторождения (1 — Молодежное, 2 — 40 лет КазССР, 3 — Геофизическое XII, 4 — 20 лет КазССР, 5 — Геофизическое VI, 6 — Спорное, 7 — Алмаз-Жемчужное, 8 — Первомайское, 9 — Миллионное); 9 — средние и мелкие месторождения; 10 — рудопроявления; 11 — разрабатываемые месторождения

кальцит, пирит, пирротин. Содержания компонентов в рудах следующие (%): Cr_2O_3 44—47, MgO 12—13; Fe_2O_3 5—7; FeO 4—17; Al_2O_3 18; характерны повышенные концентрации Ti и V . Из-за пониженного содержания хрома и повышенного железа руды используются как огнеупорное и химическое сырье и непригодны для выплавки феррохрома.

Кемпирсайский массив ультраосновных пород протягивается в субмеридиональном направлении на 82 км вдоль зоны разломов, при ширине от 1—2 до 32 км. Массив имеет форму лакколита, залегающего среди пород верхнего протерозоя и нижнего палеозоя. Он сложен перидотитами и дунитами и вмещает более 160 месторождений и рудопроявлений (рис. 3.9). Рудные тела — жилы и столбообразные залежи — падают под углом от 5—15 до 45° и прослеживаются до глубины 1200 м. Размеры тел по простиранию — от нескольких десятков метров до 1,5 км при мощности от нескольких метров до 150 м. Руды массивные и вкрапленные, состоят из магнохромита (основной минерал), оливина, серпентина, хромдиопсида, талька, сульфидов, кварца и др. Количество (в %): хромшпинелидов 80—90, серпентина 5—15, карбонатов до 7. Руды высококачественные. Содержание Cr_2O_3 в массивных рудах 55—63 %, в богатовкрапленных 45—55 %.

3.4. НИКЕЛЬ И КОБАЛЬТ

Общие сведения

Применение. Никель широко применяется в металлургии (80 % общего потребления) для производства легированных сталей и сплавов, обладающих высокой твердостью, жаропрочностью, ковкостью, пластичностью, сопротивлением коррозии. Большое значение в промышленности имеют сплавы никеля с медью, цинком, алюминием (латунь, нейзильбер, мельхиор, бронза, монетный сплав), с хромом (нихром, элинар, инконель), с железом (платинит), а также магнитные сплавы. Около 10 % объема производства никеля поступает на изготовление катализаторов.

Кобальт используется для получения специальных сталей и сплавов (70 %) — жаростойких, инструментальных, сверхтвердых и магнитных. Кроме того, он применяется в лакокрасочной, керамической, стекольной и химической промышленности.

Геохимия и минералогия. Кларк никеля 0,058 %, кобальта 0,0018 %, а коэффициенты концентрации соответственно 200 и 100. Повышенные содержания обоих металлов характерны для основных и ультраосновных магматических пород.

Известно 45 минералов никеля. К главным относятся сульфиды — пентландит $(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$ (22—42 %), миллерит NiS 13 (65 %), никелин NiAsS (44 %), а также водные силикаты — гарниерит $\text{Ni}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (46 % NiO) и редвинскит $(\text{Ni}, \text{Mg})_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ (51 % NiO). Кобальт образует 25 минералов. Промышленное значение имеют линнеит Co_3S_4 (40—53 %), кобальтин CoAsS (26—34 %), саффорит $(\text{Co}, \text{Fe})\text{As}_2$ (6—23 %), кобальтсодержащие (до 3 %) пентландит и пирит, асболоан $m(\text{Co}, \text{Ni})\text{O}_2 \cdot n\text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (до 19 %).

Типы руд и кондиции. Основными типами руд никеля и кобальта являются сульфидные и оксидно-силикатные. Минимальное промышленное содержание никеля в сульфидных рудах составляет 0,3 %, кобальта — 0,015 %, в оксидно-силикатных соответственно 0,6 и 0,037 %. Сульфидные руды часто являются комплексными и содержат медь, металлы платиновой группы, золото и серебро, селен и теллур.

Запасы и добыча. Общие запасы никелевых руд капиталистических и развивающихся стран составляют около 90 млн т, достоверные — 46,6 млн т. Они сосредоточены преимущественно в Новой Каледонии (более 25 %), Канаде (15 %), Австралии, Филиппинах, Бразилии и Греции. Добыча никеля достигла 541,4 тыс. т (Канада, о. Новая Каледония, ЮАР, Индонезия, Филиппины, Зимбабве). Общие запасы кобальта в капиталистических и развивающихся странах оцениваются в 6 млн т, достоверные — 4,8 млн т (Конго, Индонезия, о. Новая Каледония, Замбия, Канада, Филиппины). Основными производителями кобальта (26,8 тыс. т в год без СНГ) являются Конго, Замбия, Австралия, Канада, Финляндия. Цены на мировом рынке на никель достигают 4,9—7,1 долл. за 1 кг, на кобальт — 25,6 долл. за 1 кг.

По масштабам запасов (в тыс.т) месторождения делят на весьма крупные ($> 500 \text{ Ni}$ или $> 50 \text{ Co}$); средние (100—256 Ni , 10—25 Co); мелкие ($< 100 \text{ Ni}$, $< 10 \text{ Co}$).

В России крупные месторождения комплексных сульфидных руд расположены в Норильском районе и на Кольском полуострове, месторождения силикатных руд — на Урале, в Казахстане, на Украине.

Типы промышленных месторождений

Выделяют следующие промышленные типы месторождений никеля и кобальта: магматические ликвационные; гидротермальные плутоногенные высоко- и среднетемпературные; скарновые; остаточные выветривания.

За рубежом запасы и добыча никеля сосредоточены, главным образом, в остаточных месторождениях выветривания (71,5 % запасов и 43,6 % добычи) и магматических ликвационных (28,4 % запасов и 56,1 % добычи). Кобальт добывается преимущественно из стратиформных медно-кобальтовых месторождений (61,6 % добычи, 46,8 % запасов), меньшую роль играют магматические ликвационные (19,2 % добычи, 7,5 % запасов) и месторождения выветривания (15,8 % добычи, 44,7 % запасов). Гидротермальные месторождения в добыче и запасах никеля и кобальта имеют весьма ограниченное значение (0,1 и 1 % запасов, 0,2 и 3,4 % добычи соответственно никеля и кобальта).

Магматические ликвационные месторождения сульфидных руд пространственно и генетически связаны с дифференцированными массивами основных и ультраосновных пород, залегающими среди осадочных и метаморфизованных толщ в зонах глубинных разломов. Рудные тела размещаются в придонной части и вблизи материнских интрузивов. Характерные формы тел: пластообразные висячие залежи вкрапленных руд; пластообразные и линзовидные донные залежи массивных и прожилково-вкрапленных руд; пластовые, линзовидные и жильные тела массивных руд в интрузиях и вмещающих породах; линзы и неправильные тела экзоконтактовых прожилково-вкрапленных и брекчиевых руд. Размеры рудных тел изменяются от нескольких сотен метров до 1—1,5 км по простиранию, от десятков метров до 800—1000 м по падению при мощности от 1—2 до 40—50 м, редко 100 м.

В составе руд преобладают пирротин, пентландит, халькопирит, магнетит. Из нерудных минералов встречаются оливин, пироксен, плагиоклазы, серпентин, хлорит, карбонаты. Обычно наблюдается зональность в размещении минеральных разновидностей массивных и вкрапленных руд. Кроме никеля (0,3—5 %) и кобальта (0,01—0,06 %) руды содержат медь (0,5—12 %), металлы платиновой группы (0,0001—0,01 %), золото, серебро, селен, теллур, серу. Запасы руды ликвационных месторождений — сотни миллионов тонн.

Ликвационные магматические месторождения пентландит-халькопирит-пирротиновых руд известны в России на Кольском полуострове (Каула, Котсельваара, Каммикиви, Ждановское, Восток), в Красноярском крае (Талнахское, Октябрьское, Норильск-1). За рубежом крупные месторождения имеются в Финляндии (Пори), Швеции (Клева), Австралии (Камбалда), ЮАР (Бушвельд, Инсизва), США (Стиллуотер), наиболее крупные — в Канаде (Садбери, Томпсон).

Гидротермальные плутоногенные месторождения подразделяются на высокотемпературные арсенопирит-кобальтиновые, среднетемпературные никель-кобальт-арсенидные и серебро-кобальт-никель-висмут-урановые. Из перечисленных типов гидротермальных месторождений значительными в СНГ являются только никель-кобальт-арсенидные. Они тяготеют к зонам интенсивной трещиноватости, связаны с массивами гранитоидов и размещены среди скарнированных эффузивно-осадочных пород.

Рудные тела представлены гнездами и линзами вкрапленных руд, жилами массивных руд, приуроченными к крутопадающим трещинам. Руды сложены арсенидами и сульфоарсенидами никеля и кобальта с халькопиритом, арсенопиритом, марказитом, кальцитом, доломитом, хлоритом, кварцем. Текстуры руд — массивные, вкрапленные, полосчатые, брекчиевидные. В массивных рудах месторождений содержание кобальта варьирует от 2 до 11 %, никеля — от 0,4 до 14 %, во вкрапленных соответственно от 0,01 до 0,3 % и от 0,1 до 0,5 %. Запасы руд месторождений достигают 100 тыс. т. В СНГ к месторождениям данного типа относится Ховуаксы в Респ. Тыва. Наиболее крупным зарубежным месторождением является Кобальт в Канаде.

Силикатные кобальт-никелевые (гарниерит-нонтронитовые) остаточные месторождения выветривания связаны с корой выветривания ультрабазитов и серпентинитов. По структурно-морфологическим признакам различают коры выветривания следующих типов: площадные (Кемпирсайское, Сахаринское, Серовское на Урале, месторождения Кубы); линейно-трещинные (Рогожинское на Урале, месторождения на о. Новая Каледония); контактово-карстовые, приуроченные к тектоническим контактам серпентинитов и известняков (Уфалейское на Урале).

Выделяются следующие разновидности рудных залежей: плащеобразные мощностью 20—70 м и площадью в несколько

квадратных километров; жилы мощностью от 0,1 до 40 м, vyplняющие тектонические трещины и прослеживаемые на глубину 50—100 м; линзовидные тела в контактовых зонах карбонатных пород. В составе руд присутствуют гидросиликаты никеля — гарниерит, ревинскит, непунит, а также никеленосные глины, асболан. Текстуры руд рыхлые и колломорфные. Содержание никеля колеблется от 0,8 до 12 %, кобальта — от 0,05 до 0,5 %, а в асболановых рудах достигает 3—4 %. Масштабы запасов месторождений составляют миллионы тонн никеля, сотни тысяч тонн кобальта.

Горно-геологические условия месторождений никеля и кобальта

Месторождения Норильского района. Норильская группа сульфидных медно-никелевых месторождений находится в Красноярском крае на северо-западной окраине Сибирской платформы.

Район месторождений сложен образованиями платформенного чехла (снизу вверх): терригенно-карбонатными и галогенными породами девона, терригенными угленосными отложениями перми и карбона (тунгусская серия) и трапповой формацией верхней перми и триаса, представленной базальтами, туфами, туффитами.

Основным структурным элементом района является Хантайско-Рыбинский вал, ограниченный с запада Норильско-Хараелахским, а с востока Имангдинским региональными глубинными разломами. Именно к Норильско-Хараелахскому разлому приурочены главные промышленные месторождения района.

Месторождения района связаны пространственно и генетически с рудоносными дифференцированными интрузиями габбро-долеритов, имеющими анизотропное строение — от более основных дифференциатов (пикритовых) внизу до более кислых гибридных пород сверху.

Форма интрузивов чаще всего пластообразная или корытообразная, обусловленная их локализацией в пологих синклинальных складках вдоль межформационных срывов в осадках девона, тунгусской серии, реже вдоль контактов с базальтами.

Дифференцированные рудоносные интрузии Норильского района представляют собой особую глубинную ветвь трапповой магмы, а связанные с ними сульфидные медно-никелевые месторождения по своему генезису являются собственно магматическими ликвационными.

В Норильском районе известны следующие месторождения: Норильск I Норильск II, Гора Черная, Имангда, Талнахское и Октябрьское.

В настоящее время основными объектами разработки являются Талнахское и Октябрьское месторождения, более детальное описание которых и приводится ниже.

Талнахское и Октябрьское месторождения образуют единое рудное поле. Талнахское рудное поле на юго-западном центральном замыкании Хараелахской мульды, выполненной пологозалегающими осадочными породами девона, карбона, перми и триаса (углы падения 5—10° в северных румбах) и пересекаемой Норильско-Хараелахским глубинным разломом.

Месторождения приурочены к межпластовому дифференцированному интрузиву габбро-долеритов, имеющему сложное строение. Он состоит из отдельных массивов, или ветвей, расходящихся от предполагаемого магмоподводящего канала, находящегося в северо-восточной части рудного поля (рис. 3.10).

В поперечном сечении интрузивы имеют пласто- или корытообразную форму и занимают слабосекущее положение во вме-

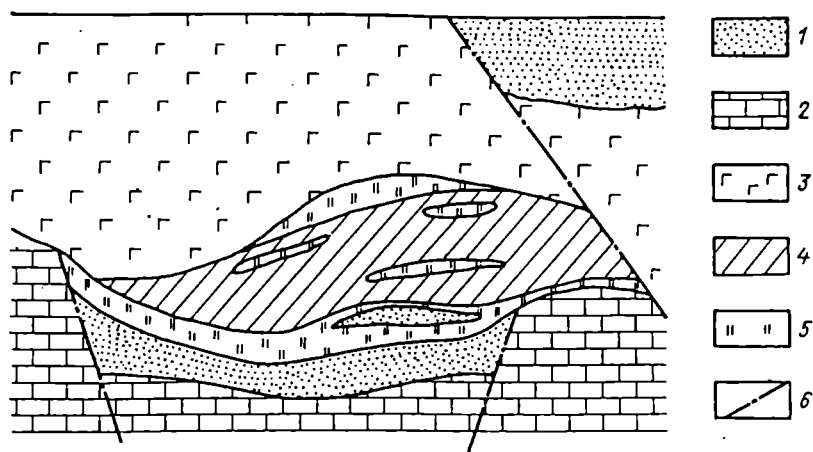


Рис. 3.10. Геологический разрез Талнахского месторождения (по В.Н. Котляру):

1 — песчаники; 2 — известняки и ангидриты; 3 — дифференцированные габбро-долериты с вкрапленным оруденением в нижней части; 4 — залежь сплошных сульфидных руд; 5 — экзоконтактовые вкрапления руды в измененных вмещающих породах; 6 — разрывные нарушения

щающих породах от подошвы туфолововой толщи пермотриаса до карбонатно-глинистых отложений девона.

Талнахское месторождение связано с Северо-Восточной, Центральной и Юго-Западной интрузивными ветвями и расположено в так называемом верхнем рудном этаже. Октябрьское месторождение локализовано в нижнем рудном этаже на глубинах более 400—600 м и приурочено к Северо-Западной, Хараслахской и Лесноозерской интрузивным ветвям. Месторождения разобщены главным швом глубинного разлома. Складчатые и разрывные нарушения, оперяющие разлом, создают сложное блоковое строение рудного поля. Мощность интрузивных тел (ветвей) изменяется от 250 до нескольких метров вблизи выклинивания.

Талнахский рудоносный интрузив образовался в результате кристаллизационно-гравитационной дифференциации единого магматического расплава. Вследствие этого отдельные ветви его представляют собой анизотропные, в различной степени расслоенные магматические тела, в общем случае с закономерным чередованием следующих горизонтов (сверху вниз): 1) лейкократовые габбро, габбро-диориты и эруптивные брекчии; 2) габбро-долериты в т. ч. кварцсодержащие; 3) безоливиновые долериты; 4) оливиновые долериты; 5) пикритовые долериты и троктолиты; 6) такситовые и контактовые долериты.

Рудоносный интрузив сопровождается мощным ореолом (до 150—200 м) контактово-измененных метаморфических пород, среди которых наиболее распространены метасоматиты альбит-микроклинового состава, серпентиниты, магнезиальные и известковые скарны. Ширина контактового ореола уменьшается от фронтальных к прикорневым частям интрузива. В пределах многочисленных разрывных нарушений распространены милониты и катаклазиты.

Основная масса сульфидных медно-никелевых руд локализована в придонной части интрузива и подстилающих породах, т.е. в зоне его нижнего эндо- и экзоконтакта. Главными рудоносными дифференциатами являются пикритовые, такситовые и контактовые долериты, которые составляют около 10—15 % мощности интрузива.

На Талнахском и Октябрьском месторождениях известно пять крупных рудных залежей, состоящих из пространственно сближенных тел, сложенных вкрапленными, прожилково-вкрапленными и сплошными рудами. Залежи имеют пластообразную

и линзообразную форму, с контурами, повторяющими в плане контуры материнских интрузивов.

Контакты рудных тел с вмещающими породами постепенные, реже резкие. Руды месторождений являются комплексными полиметалльными. Главнейшие рудные минералы во всех типах руд — пирротин, пентландит, халькопирит и кубанит, основные извлекаемые металлы — никель, медь, кобальт, металлы группы платины. Второстепенные минералы достаточно многочисленны — это пирит, борнит, ковеллин, валлериит, троилит, магнетит, ильменит, платиноиды и др. Всего в рудах обнаружено более ста рудных минералов, причем, многие из них открыты впервые (талнахит, годлевскит, таймырит, маякит и др.). Текстуры руд массивные, брекчиевидные, пятнистые, вкрапленные, прожилково-вкрапленные.

На месторождениях Талнахского рудного поля выделяется три промышленных типа руд: 1) вкрапленные (77 % от общей массы руд); 2) сплошные сульфидные руды (10 %); 3) прожилково-вкрапленные (13 %).

Вкрапленные руды сосредоточены в придонных частях материнских интрузивов. Они слагают протяженные пластообразные тела, повторяющие особенности морфологии интрузивных массивов. Мощности залежей изменяются от 5 до 10 м и, как правило, пропорциональны общей мощности оливинсодержащих пород в массиве.

Медно-никелевое оруденение представлено в виде вкрапленности и гнездообразных скоплений сульфидов в пикритовых, такситовых и контактовых габбро-долеритах. С глубиной концентрация рудных минералов возрастает. Отношение Cu:Ni:Co составляет 45:25:1.

Сплошные сульфидные руды локализуются как в придонных частях интрузивов, так и во вмещающих породах нижнего экзоконтакта.

Рудные тела имеют пласто-, линзо-, жилообразную форму и пологое залегание. Пострудные тектонические нарушения осложняют форму залежей, разобщая их на отдельные блоки. Мощность рудных тел изменчива и колеблется от 2—10 м до 40 м и более в раздувах. По преобладающим минералам выделяются пирротиновые, халькопиритовые, кубанитовые, талнахитовые разновидности руд, связанные между собой постепенными переходами.

В сплошных рудах Талнахского месторождения отношение Cu:Ni:Co равно 43:33:1, а Октябрьского, соответственно, 46:24:1.

Прожилково-вкрапленные руды залегают во вмещающих породах нижнего, редко верхнего экзоконтакта интрузивных массивов. Они, как правило, обрамляют сплошные руды, образуя тела линзовидной формы мощностью до 2—3 м. По сравнению с другими промышленными типами руд они характеризуются высокой медистостью. Соотношение $\text{Cu}:\text{Ni}:\text{Co}$ в прожилково-вкрапленных рудах, составляет в среднем 127:30:1. Крепость по М. Протодяконову: руд 8—16, пород всячего бока 8—16, лежачего бока 12—14. Руды слабой и средней устойчивости, породы всячего бока неустойчивые и средней устойчивости, породы лежачего бока — средней устойчивости и устойчивые. Средняя плотность руд 2,5—3 т/м³. Руды склонны к слеживанию и самовозгоранию. Влажность руды 2—3 %. Кусковатость руды во взорванной массе от десятков мм до 100—300 мм.

Месторождение Ховуаксы находится в Тыве. Месторождение сложено кембрийскими вулканитами, силурийской осадочной толщей с горизонтами скарнированных известняков (мощностью до 120 м) и нижнедевонскими вулканогенными и осадочными породами, несогласно перекрытыми живетскими осадочными отложениями. Развита субвулканические породы основного, среднего и щелочного состава. Интрузивные образования представлены массивами гранитоидов, дайками диабазов и диабазовых порфиринов, а также штоками гранитов. Силурийские и нижнедевонские породы образуют антиклиналь, осложненную разломами. Оруденение связано с субмеридиональным крупноамплитудным разломом и оперяющими его пологими и крутыми трещинами скола, которые секут скарны (рис. 3.11).

Рудные тела представлены жилами, часто пересекающими скарны. К участкам сопряжения и разветвления трещин или изменения их залегания приурочены рудные столбы. Всего на месторождении установлено и учтено при подсчете запасов 40 рудных тел. Угол падения рудных тел от 30° до 90°. Изменчивость угла падения и азимута простирания рудных тел переменная как в пределах рудных тел, так и отдельных технологических блоков. Глубина залегания месторождения от 0 до 500 м.

Мощность рудных тел от 0,05 до 3 м, средняя — 0,3 м. Изменчивость мощности рудных тел переменная. Усложнение формы и внутреннего строения рудных тел обусловлено наличием многочисленных апофиз, особенно в местах сопряжения жил или их близкого нахождения. Характер контактов рудных тел с вмещающими породами четкий. Характер выклинивания

рудных тел характеризуется постепенным уменьшением мощности. На месторождении развиты дизъюнктивные нарушения типа сбросо-сдвигов со средней амплитудой смещения до 10 м.

Руды никель-кобальтового состава. Главные минералы: рудные — никелин, риммельсбергит, шмальтин, хлоантит, скутрудит и саффорит, жильные — кальцит и доломит; второстепенные — блеклая руда, халькопирит, сфалерит, галенит, самородный висмут, самородное серебро и аргентит, а также сидерит, хлорит, кварц, барит. Среди минералов зоны окисления развиты эритрин и аннабергит.

Основными компонентами руд являются кобальт и никель, элементами-спутниками — медь, серебро, висмут, вредный компонент — мышьяк. Характер распределения кобальта и никеля крайне неравномерный (коэфф. вариации более 150 %). На месторождении отмечается горизонтальная зональность, выражающаяся в том, что центральные части рудных тел сложены арсенидами Co, Ni и Fe в ассоциации с кальцитом и доломитом, а периферические — наряду с карбонатами, хлоритом и сульфидами меди.

На месторождении выделены три промышленных типа руд — шмальтин-хлоантитовые (60 %), саффоритовые (30 %) и никелиновые (10 %). По качеству руды разделяются на богатые (50 %), рядовые (25 %), бедные (15 %), убогие (5 %) и забалансовые (10 %).

Текстуры руд — полосчатые, брекчиевидные, прожилковые и вкрапленные; струк-

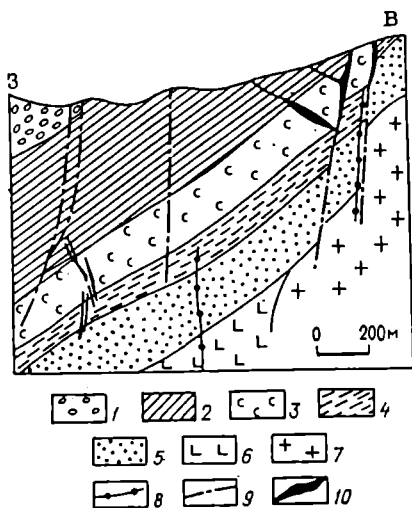


Рис. 3.11. Геологический разрез Южного участка Ховуаксинского месторождения (по В.А. Ункову):

1 — туфоконгломаты девона; 2—5 — силурийские отложения: 2 — существенно алевролитовый горизонт, 3 — существенно скарно-алевролитовый горизонт, 4 — скарно-алевролитовый горизонт, 5 — песчанниковый горизонт; 6 — кембрийские вулканические породы; 7 — граниты нижнего палеозоя; 8 — дайки диабазов и порфиров; 9 — разрывные нарушения; 10 — рудные жилы

туры — кристаллические, радиально-лучистые, колломорфные и зональные. Дорудные изменения вмещающих пород заключаются в скарировании известняков, а околорудные — в карбонатизации.

Крепость по М. Протодяконову: руд 9—13, пород висячего и лежащего бока 10—15, руды и породы средней устойчивости. Средняя плотность руд по типам изменяется от 2,7 до 3,25 т/м³. Руды склонны к слеживанию. Влажность руды 2—6 %. Месторождение разрабатывается подземным способом.

3.5. ВОЛЬФРАМ И МОЛИБДЕН

Общие сведения

Применение. Вольфрам используется в металлургии для получения легированных сталей (добавка его повышает твердость, прочность и тугоплавкость стали), а в чистом виде — в электроосветительной аппаратуре. Кроме того, вольфрам входит в состав жаропрочных и твердых сплавов.

Молибден применяется в металлургии высококачественных нержавеющей инструментальных и специальных сталей и сплавов. Металлический молибден используется в электро- и радиотехнике. Соединения молибдена служат катализаторами при крекинге нефти, сырьем при производстве красок, химических реактивов, огнестойких пластмасс, удобрений.

Геохимия и минералогия. Кларк вольфрама 0,003 %, молибдена 0,0011 %, коэффициент концентрации обоих металлов 5000, повышенное содержание их характерно для кислых магматических пород. Вольфрам содержится в 14 минералах, из которых к промышленным относятся вольфрамит (Fe, Mn) WO₄, (76,5 % WO₃), ферберит Fe, WO₄ (76,3 %), гюбнерит MnWO₄ (76,6 %) и шеелит CaWO₄ (80,6 %). Молибден образует 9 минералов. Главным является молибденит MoS₂ (60 % Mo), второстепенную роль играет молибдошеелит Ca (MoW) O₄ (0,5—15 %).

Типы руд и кондиции. Вольфрам получают из скарных шеелитовых, кварц-шеелитовых и вольфрамитовых руд. Минимальное промышленное содержание WO₃ в рудах варьирует от 0,3 до 1—2 % (в среднем 0,7 %), в комплексных рудах может быть ниже. Для россыпей минимальное промышленное содержание вольфрама составляет 400—1000 г/м³. Для извлечения

молибдена основное значение имеют только молибденитовые руды. Реже могут представлять интерес молибдошеелитовые руды. Минимальное промышленное содержание молибдена в рудах колеблется от 0,01 до 1 % — в зависимости от типа месторождения, комплексности руд и условий разработки.

Запасы и добыча. Общие запасы WO_3 (без СНГ) составляют 2,5 млн т, достоверные — 1,8 млн т. Основная их часть (> 65 %) сосредоточена в США, Канаде, Турции, Австралии и Респ. Коре. Располагают ими также Боливия, Португалия, Перу, Мьянма и др. Вольфрамитовые руды подвергаются обогащению для получения концентрата, содержащего не менее 60 % WO_3 , и удаления вредных примесей. Производство вольфрамовых концентратов достигает 28 тыс. т; их получают в основном в Респ. Корея и Канаде, США, Австралии, Боливии, Бразилии, Австрии, Португалии.

Общие запасы молибдена (без СНГ) оцениваются в 11,4 млн т, достоверные — 7,7 млн т. Основная часть запасов приходится на США (40 % достоверных запасов), Чили (26 %), Канаду, Перу, Иран, Мексику. Добыча молибденовых руд — 84,3 тыс. т в пересчете на металл — сосредоточена преимущественно в США, Канаде и Чили. Цена 1 кг концентрата WO_3 составляет 14—16 долл., а 1 кг молибдена в концентрате стоит 7 долл.

По масштабам запасов принято следующее деление месторождений. Весьма крупные месторождения имеют запасы соответственно WO_3 и Mo (тыс. т) более 250 и более 100, крупные — 250—100 и 100—50, средние — 100—15 и 20—25, мелкие — менее 15 и менее 25.

СНГ обладает значительными запасами вольфрамовых и молибденовых руд. Крупные месторождения молибденитовых и комплексных руд известны в Казахстане, Узбекистане, Забайкалье, на Дальнем Востоке, в Красноярском крае, на Северном Кавказе и в Забайкалье.

Типы промышленных месторождений

Эндогенные месторождения вольфрама и молибдена по генезису делятся на скарновые и гидротермальные плутоногенные высоко- и среднетемпературные. Россыпные месторождения вольфрама в странах СНГ не относятся к основным его источникам.

За рубежом ведущую роль в добыче и запасах вольфрама играют скарновые (около 60 % запасов и более 55 % добычи) и гидротермальные (около 40 % запасов и добычи) месторожде-

ния. Некоторое промышленное значение имеют россыпи (0,8 % запасов и 3,2 % добычи). Молибден добывается и сосредоточен почти исключительно в штокверковых (порфировых) месторождениях (> 97 % запасов и 99 % добычи, причем из собственно молибденовых получают около 40 % молибдена (31 % запасов), а из комплексных медно-молибденовых — около 60 %. На остальные промышленно-генетические типы месторождений приходится менее 1 % производства молибденовых концентратов.

Гидротермальные плутогенные высокотемпературные месторождения представлены кварцевыми жилами и зонами грейзенов с молибденитом, вольфрамитом, касситеритом, флюоритом и др. Пространственно месторождения связаны с апикальными частями гранитоидных массивов и располагаются в их эндо- и экзоконтактных зонах. Руды слагают крутопадающие жилы, трубообразные тела и штокверковые зоны. Протяженность и мощность тел незначительны. Текстуры вкрапленные. Содержание Мо колеблется от 0,3 до 2 %, WO_3 от 0,5 до 0,4 %. Масштаб запасов Мо до 10 тыс. т, WO_3 до 25 тыс. т. В СНГ к месторождениям данного типа относятся Джида, Белуха, Букука, Шахтама, Давенда, Бом-Горхон, Жирикен в Забайкалье, Шалгия и Верхнее Кайракты в Казахстане. За рубежом подобные месторождения имеются в Португалии, Норвегии (Кнабен), КНР (Ляндушань, Шанпин), Монголии (Тумен-Цокто), США (Квеста), Канаде (Ред-Роуз) и др.

Гидротермальные плутогенные средне-температурные месторождения молибденовых и медно-молибденовых руд (порфировые) связаны с крупными интрузивами умеренно кислых гранитоидов, а также со штоками и дайками гранит-порфиров. Размещение оруденения контролируется региональными разломами и системами сопряжений трещиноватости; руды образуют штокверки и прожилково-вкрапленные зоны. Текстуры руд вкрапленные и прожилковые. Главными минералами являются молибденит, халькопирит и кварц, второстепенными — борнит, блеклые руды, сфалерит, галенит, карбонаты. Помимо молибденита и меди в рудах отмечаются рений, селен, теллур, висмут, золото и серебро. Содержание молибдена — от 0,005 до 0,07 %, меди — от 0,5 до 2 %. Запасы месторождений достигают 300 тыс. т.

В СНГ к этому типу принадлежат месторождения Коунрад, Бошекуль (Казахстан), Кальмакыр (Средняя Азия), Каджаран, Агарак (Закавказье), Сорское (Западная Сибирь). За рубежом

крупными месторождениями являются Медет (Болгария), Майданек (Югославия), Эрденет (Монголия), Кляймакс, Бингем (США), Токенама (Перу), Чукикамата (Чили).

Скарновые месторождения генетически и пространственно связаны с умеренно кислыми гранитоидами, прорывающими карбонатные толщи. Рудная минерализация концентрируется непосредственно в контактовой зоне и ассоциирует с гранат-пироксеновыми скарнами. Вмещающими породами являются роговики, сланцы, мраморы, скарнированные карбонатные отложения.

Вкрапленные руды слагают крупные трубообразные и сложные тела, пластообразные залежи, жилы и линзы. Основными рудными минералами являются шеелит (иногда молибдошеелит) и молибденит; присутствуют также пироксины, гранаты, сульфиды. Шеелит наблюдается в виде рассеянной вкрапленности в скарнах. Молибденит встречается как в скарнах, так и во вмещающих их породах. Содержание Мо в рудах составляет 0,05—0,3 %, WO_3 — 0,5—1 %. Кроме этих металлов в рудах отмечаются висмут, золото, серебро, реже олово, медь, мышьяк, цинк. Масштаб запасов месторождений молибдена — сотни тыс. т, WO_3 — десятки тыс. т.

К рассматриваемому типу в СНГ относятся месторождения Тырныауз, Ингичке, Чорух-Дайрон, Майхура. Наиболее крупными из зарубежных месторождений являются Санг-Донг (Респ. Корея), Азгур (Марокко), Пайн-Крик (США).

Горно-геологические условия месторождений вольфрама и молибдена

Агаракское месторождение. В геологическом строении месторождения принимают участие, главным образом, интрузивные породы двух главных фаз: Конгуро-Алангезского плутона — монцонитовой — на западе, и более молодой — гранодиоритовой — на востоке. Основными рудовмещающими являются породы монцонитовой фазы, представленные сиенито-гранитами, прорванными дайками и линзообразными телами гранодиорит-порфитов, приуроченными к разрывным нарушениям меридионального и широтного простирания. Породы гранодиоритовой фазы представлены порфировидными гранодиоритами и гранодиорит-порфирами. Наиболее широко развиты сиенито-граниты, среди которых находится шток гранодиорит-порфиров, к которому приурочена основная масса оруденения.

Сиенито-граниты и гранодиорит-порфиры в значительной степени гидротермально изменены: окварцованы, серицитизированы, каолинизированы и насыщены вкрапленностью и прожилками сульфидов. Широкое распространение имеют красные брекчии и аллювиально-делювиальные современные отложения.

В тектоническом отношении месторождение приурочено к блоку магматических горных пород, ограниченному двумя тектоническими разломами: на западе — Агаракским с падением на восток, юго-восток под углом $60\text{--}75^\circ$, на востоке — Спетринским с падением на запад под углом $30\text{--}65^\circ$.

Агаракский разлом представляет собой продолжение крупного Дебаклинского разлома и в пределах месторождения представляет собой зону интенсивного дробления и смятия пород; Спетринский разлом, заложенный в сиенито-гранитах, являлся экранирующим для проникновения гидротермальных растворов, так как оруденение развито только висячем боку, т.е. к западу от разлома.

В блоке, заключенном между двумя названными разломами, интенсивно развиты крутопадающие зоны дробления северо-восточного простирания с падением на СЗ, в них развиты прожилковая кварц-сульфидная и вкрапленная сульфидная минерализация, причем отмечается прямая зависимость интенсивности оруденения от степени дробления пород.

На месторождении разведано одно рудное тело, которое разрабатывается. Рудное тело имеет форму штокверка. Угол падения рудного тела от 80 до 90° , средний угол падения 60° . Изменчивость угла падения и азимута простирания рудного тела переменная в пределах месторождения. Глубина залегания месторождения от 30 до 300 м.

Характер контактов рудных тел с вмещающими породами: висячий контакт — нечеткий; лежащий контакт — четкий. Длина рудного тела по падению 250 м.

Усложнение формы и внутреннего строения рудного тела не отмечается. Характер выклинивания рудного тела простой (постепенное уменьшение мощности). Среди тектонических нарушений выделяются сброс и надвиг с амплитудой смещения $100\text{--}150$ м.

Минеральный состав руд следующий: главными минералами являются пирит, халькопирит, молибденит, второстепенны-

ми — магнетит, рутил, халькозин. Нерудные минералы представлены кварцем, серицитом, карбонатами, хлоритом. Основными компонентами руд являются медь и молибден; элементами-спутниками Au, Ag, S; элементами-примесями: рений, селен, теллур, висмут. Характер распределения основных компонентов неравномерный ($V = 40\text{—}100\%$). Изменчивость Cu и Mo существенная ($20\text{—}50\%$) в пределах технологического блока и резкая (более 50%) в пределах рудного тела.

Наличие и характер зональности проявляется в том, что в верхней части рудного тела выделяется зона вторичного обогащения. Зона окисления руд в настоящее время полностью отработана.

На месторождении выделяется один промышленный тип руд — медно-молибденовые сульфидные — 100% . По качеству при подсчете запасов выделены бедные — $49,8\%$, и забалансовые руды $50,2\%$.

Крепость руд по М. Протодыяконову для руд и пород всячего и лежащего бока изменяется от 6 до 10. Устойчивость руд и пород всячего и лежащего бока — средняя. Средняя плотность руд $2,56\text{ т/м}^3$. Кусковатость руды во взорванной массе от первых миллиметров до 1000 мм , средняя 150 мм . Руда не склонна к слеживанию и к самовозгоранию. Влажность руды $4,5\%$. Коэффициент разрыхления $1,2\text{—}1,6$.

Месторождение Тырнауз на Северном Кавказе расположено на высоте $2500\text{—}3000\text{ м}$ и приурочено к узкому грабену, сложенному породами палеозоя и юры. Осадочная толща палеозоя смята в антиклинальную складку, прорванную массивом мезозойских порфировидных гранитов и дайками кислых и основных пород. На площади месторождения развиты известняки, песчано-сланцевые отложения и туффиты, которые прорваны гранитоидами и под их воздействием преобразованы в мраморы и роговики. Разрывные нарушения усложнили складчатую структуру месторождения, разбив его на отдельные блоки.

На месторождении установлены скарны по мраморам и роговики. Первые маломощны и практически безрудны. Вторые слагают рудные тела и составляют около 80% общего объема рудных скарнов. В пределах месторождения выделено несколько рудных тел. Главный рудный скарн представляет собой крутонаклонную протяженную седловидную залежь мощностью в сводовой части до 100 м , а на флангах до 2 м (см. рис. 2.12).

Процесс минерализации на Тырнаузе был трехэтапным. В первый (герцинский) этап в связи с гранитоидами образовались

шеелитовые скарны. Во второй этап, по времени отвечающий внедрению позднеюрских лейкократовых гранитов, отлагалась основная масса молибденового оруденения, которое приурочено к системе зон окварцованных пород. Участки пересечения этими зонами скарновых залежей характеризуются наиболее высокими содержаниями вольфрама и молибдена. К третьему этапу, совпадающему с внедрением кайнозойского Эльджуртинского гранитного массива, относится образование шеелитовых гранат-магнетитовых и пирротиновых линзообразных тел с халькопиритом, арсенопиритом и сфалеритом. На верхних горизонтах Тырныауза преобладает молибденовое, а на нижних — вольфрамовое оруденение.

По минеральному составу и технологии обогащения руды месторождения подразделяются на скарновые, роговиковые и скарнированные мраморы. Скарновые руды составляют 60 % от всех разведанных запасов руды. Минералогический состав их представлен пироксеном, гранатом, кварцем и второстепенными минералами: плагиоклазом, кальцитом, флюоритом и др. Из рудных минералов присутствуют шеелит, молибденит, халькопирит, арсенопирит, пирротин, пирит, сфалерит.

Распределение рудных минералов в рудном теле неравномерно. Наиболее обогащенные молибденитом участки приурочены только к северо-западному флангу рудного тела и центральному скарну. Восточный перегиб главного рудного тела, наиболее обогащенный вольфрамом, содержит молибденит в небольшом количестве, где он входит в состав шеелита. Содержание молибдена с глубиной не меняется.

В гидрогеологическом отношении условия месторождения благоприятные. Средняя влажность руд и пород достигает 2,5 % и обусловлена проникновением атмосферных осадков по тектоническим трещинам.

Крепость руд и вмещающих пород по М. Протодяконову следующая: мраморы 8—14, роговики 12—14, скарны 16—18. Средняя плотность мраморов и роговиков 2,6 т/м³, скарнов 3 т/м³. Вмещающие породы и руды устойчивые. Коэффициент разрыхления 1,5.

Месторождение Восток-II находится в Северном Приморье и в региональном плане приурочено к крупному тектоническому нарушению, а именно к Центральному структурному шву Сихотэ-Алиня, и располагается в его оперяющем разломе. Рудное поле сложено верхнепермскими и верхнетриасовыми толщами, которые представлены алевритами и песчаниками с

горизонтами известняков и основных эффузивов, прорванных небольшими штоками и различными по составу дайками. Оруденение приурочено к контактовой зоне штока гранитоидов с пачкой песчаников, роговиков и известняков.

Вольфрамовое оруденение представлено крупной пластообразной залежью кварц-шеелитовых и шеелит-сульфидных руд среди грейзенизированных и скарнированных пород, протягиваясь в северо-восточном направлении на 600 м (рис. 3.12). Главное рудное тело и сопровождающие его сопутствующие субпараллельные тела имеют северо-восточное простирание и падают на северо-запад под углами 50—86°. Изменчивость азимута простирания и азимута падения выдержанная в пределах залежи. Рудные тела наиболее часто характеризуются четкими границами с вмещающими породами как по висячему боку, так и лежащему. На месторождении отмечаются дизъюнктивные нарушения типа сбросов и взбросов, в основном, с небольшими амплитудами смещения.

Главные минералы: рудные — вольфрамит, молибденит и пирит; нерудные — кварц, мусковит и топаз; второстепенные — шеелит, висмутин, сфалерит, халькопирит и касситерит, а также флюорит, турмалин, биотит, полевые шпаты.

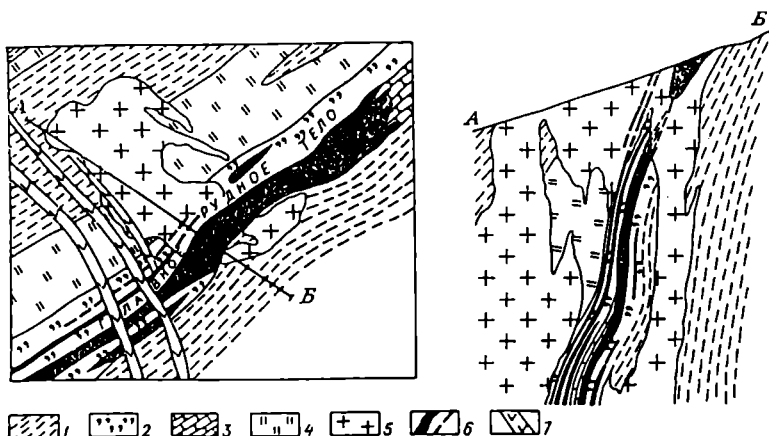


Рис. 3.12. Схема геологического строения скарнового месторождения Восток-II. По А. Ивакину и Н. Лаврику:

1 — песчаники; 2 — биотитовые роговики; 3 — известняки; 4 — кремни и кварциты; 5 — граниты и гранодиориты; 6 — рудные тела; 7 — дайки порфиритов

По особенностям минерального состава в Главном рудном теле месторождения выделяются два типа руд: шеелит-кварцевые и шеелит-сульфидные. Основное значение имеют шеелит-сульфидные руды, представленные шеелит-пирротиновым и шеелит-пирротин-скарновым подтипами.

Шеелит-кварцевые руды имеют ограниченное распространение, но характеризуются весьма высоким содержанием WO_3 . Среди этих руд по минеральному составу контрастно выделяются шеелит-апатит-кварцевые и шеелит-мусковит-кварцевые руды.

Шеелит-сульфидные руды имеют широкое распространение в пределах всего рудного поля, но особенно в центральной части месторождения и на его северном фланге. В сульфидных рудах пирротин — основной рудный минерал, он составляет 70—80 % руд. Кроме него в рудах встречаются арсенопирит, халькопирит, а также самородный висмут, золото, серебро и вольфрамит.

Руды месторождения характеризуются массивными, полосчатыми, вкрапленными и друзовыми текстурами, структуры — гипидиоморфные, аллотриоморфные, взаимных границ и коррозионные. Шеелит и вольфрамит в рудах распространены неравномерно: для них характерно образование крупных мономинеральных скоплений (особенно в кварцевом типе руд) наряду с неравномерной вкрапленностью в сульфидных и скарновых рудах. Характер распределения WO_3 в рудах крайне неравномерный (коэффициент вариации 160—180 %). Изменчивость WO_3 в пределах технологических блоков резкая (более 50 %).

Породы всячего и лежачего бока и руды устойчивые. Шеелит-сульфидные руды склонны к слеживанию и самовозгорания. Влажность руд 2 %. Коэффициент разрыхления 1,6—1,8.

Холтасонское месторождение находится в западной части Джидинского молибден-вольфрамового рудного поля (Бурятия). Месторождение кварцево-сульфидно-гюбнеритовое. Нижнепалеозойская вулканогенно-осадочная толща и гранитоиды прорваны мезозойским комплексом малых интрузивов и даек пестрого состава, с которым связано двухэтапное (молибденовое и вольфрамовое) оруденение (рис. 3.13).

Молибденовое оруденение представлено жильным и штокверковым типами и проявлено главным образом в апикальной части интрузива гранит-порфиров и на небольшом удалении от них в роговиках (рудник Первомайский). Вольфрамовое оруде-

нение жильное и штокерковое развито во всех породах, но преимущественно в кварцевых диоритах (рудник Холтасон и Инкурский штокерк).

Рудные жилы Холтасонского месторождения приурочены к тектоническим трещинам четырех систем: широтной, падающей на юг, широтной, падающей на север, северо-западного и северо-восточного простирания. Среди широтных выделяются трещины скалывания, падающие как на юг под углом $45-60^\circ$, так и на север под углом 45° , и почти вертикальные трещины отрыва.

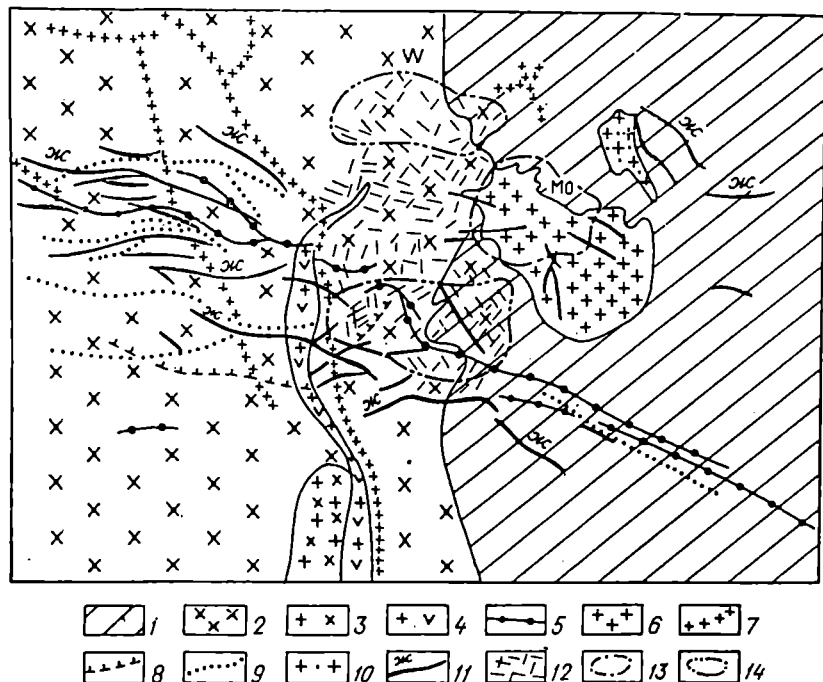


Рис. 3.13. Схема геологического строения Джидинского рудного поля (по И.П. Кушнareву, В.И. Игнатовичу и др.):

1 — вулканогенно-осадочные породы нижнего палеозоя; 2 — кварцевые диориты палеозойские; 3—10 — комплекс мезозойских магматических пород: 3 — гранодиориты, 4 — плагнограниты, 5 — дайки бостонитов, 6 — первомайские гранит-порфиры, 7 — дайки гранит-порфира, 8 — серые сенииты, 9 — дайки керсантитов, 10 — горкинские гранит-порфиры; 11 — рудные жилы; 12 — прожилки Инкурского вольфрамового штокерка; 13 — контур молибденового штокерка; 14 — контур вольфрамового штокерка

На месторождении известно 140 жил, из них 70 имеют промышленное значение. Кварц-гюбнеритовые жилы характеризуются в основном субширотным простиранием и углами падения 30—50°, реже 55—85° в южных румбах. Изменчивость азимута падения и азимута простирания в пределах жил часто переменная. Рудные жилы имеют сложную морфологию. При средней мощности жил 0,8 м часто встречаются раздувы от 2 до 12 м и более, чередующиеся с пережимами, в которых мощность жил уменьшается до нескольких сантиметров.

Пережимы по отдельным жилам составляют от 18 до 51 % общей площади жил. Наиболее богатое содержание триоксида вольфрама в жилах сосредоточено до глубины 200 м от поверхности, ниже отмечается постепенное снижение содержания, и на глубоких горизонтах оно в среднем в 1,5 раза ниже, чем в верхней части жил.

Главный жильный минерал — кварц, в большом количестве присутствуют микроклин, серицит, флюорит, в меньшем — триптит, анкерит, из рудных отмечаются гюбнерит, пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, шеелит.

По составу на месторождении выделено четыре типа руд — кварц-гюбнеритовые, кварц-сульфидно-гюбнеритовые, родохрозит-гюбнеритовые и роговиковые с мелкозернистым гюбнеритом. Текстуры руд вкрапленные, полосчатые, друзовые, а также массивные.

Основные запасы вольфрама заключены в кварц-сульфидно-гюбнеритовых рудах. Характер распределения триоксида вольфрама в рудах от неравномерного до крайне неравномерного (коэффициент вариации 125—175 %).

3.6. АЛЮМИНИЙ

Общие сведения

Применение. Алюминий благодаря низкой плотности, высокой электропроводности, большой коррозионной устойчивости и механической прочности применяется в авиации, автомобиле- и судостроении, электротехнической промышленности, в изготовлении предметов быта. В мировом производстве известно более 500 тыс. изделий, полученных на его основе. Почти со всеми металлами (кроме свинца) алюминий образует сплавы и химические соединения.

Геохимия и минералогия. Кларк алюминия 8,05 %. Массовая концентрация алюминия в земной коре, по А.П. Виноградову, 8,05, в ультраосновных породах 0,45 %, в основных 8,76 %, в средних 8,85 %, в кислых 7,70 %, в осадочных 10,45 %. Высокие содержания алюминия связаны с породами щелочного ряда. Так, например, в щелочных нефелиновых породах глинозема содержится 22—25 %, в связи с чем они могут служить рудой для получения алюминия.

Алюминий входит в состав 250 минералов. Промышленное значение из них имеют: бемит и диаспор $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (85 % Al_2O_3), гиббсит (гидраргиллит) $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (65,4 %), нефелин $\text{KNa}_3[\text{AlSiO}_4]_4$ (34 %) и алунит $\text{KAl}_3[\text{SiO}_4]_2(\text{OH})_6$ (77 %). Перспективными для получения алюминия считаются кианит, силлиманит, андалузит и каолинит.

Типы руд и кондиции. Важнейшими рудами для производства алюминия являются бокситы — породы, состоящие из гидроксидов алюминия, железа, глинистых минералов и кремнезема. По преобладающему минералу различают бокситы бемитовые, диаспоровые, гиббситовые и комплексные. По текстуре они делятся на каменистые, рыхлые, оолитовые, бобовые, брекчиевидные, яшмовидные. Минимальное промышленное содержание глинозема в бокситах 2,5 %, отношение $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{SiO}$ (кремневый модуль) более 2,6. Вредными примесями, кроме SiO_2 , являются также TiO_2 , S, CO_2 , V, Cr, Ca, Cu, Fe^{2+} , органическое вещество.

В качестве сырья для получения алюминия используются также нефелиновые сиениты, алуниты, некоторые сорта глин, анортозиты. Минимальное промышленное содержание глинозема в нефелиновых сиенитах 22 %, максимальное содержание Fe_2O_3 — 7,5 %.

При производстве алюминия из бокситов и других видов сырья вначале получают глинозем, который затем восстанавливают до металлического алюминия. Процесс этот очень энергоемкий.

Запасы и добыча. Общие запасы бокситов — главного алюминиевого сырья — в капиталистических и развивающихся странах оцениваются в 57 млрд т, достоверные — в 26,2 млрд т. Около 90 % запасов сосредоточено в странах тропического пояса, 75 % приходится на Австралию, Гвинею, Бразилию, Суринам, Ямайку, Индию, а также Грецию, Францию. Добыча бокситов осуществляется в 28 странах и составляет 74,3 млн т, 80 %

объема добычи дают Австралия, Ямайка, Гвинея, Суринам, Гайана, Греция, Франция, США. Мировое производство глинозема (без стран СНГ) составляет 23—27 млн т, алюминия 10—12 млн т. Цены на алюминий в 1985—1990 гг. варьировали от 1200 до 2100 долл/т.

Страны СНГ имеют мощную сырьевую базу для производства алюминия. Основные месторождения бокситов расположены на Северном и Южном Урале, в Западной и Восточной Сибири, Казахстане, Ленинградской области. Месторождения нефелиновых руд имеются на Кольском п-ове, в Сибири, Казахстане.

Месторождения бокситов по величине запасов (в млн т) подразделяют на очень крупные (> 100), крупные (от 100 до 50), средние (от 50 до 15) и мелкие (< 15).

Типы промышленных месторождений

Основные типы алюминиевых месторождений следующие:

1. Бокситовые пластообразные латеритные месторождения: Боке (Гвинея), Висловское (Белгородская обл., КМА), месторождения Индийской платформы, Бразильского щита;

2. Бокситовые линзо- и пластообразные латеритно-осадочные месторождения: Уэйна (Австралия), Верхне-Ворыквинское (СНГ), месторождения Суринама, Гайаны, Гвианы;

3. Бокситовые пластообразные осадочные месторождения карбонатных толщ: Северо-Уральская группа месторождений, бокситы о-ва Ямайка, месторождения Франции, Венгрии, Греции.

4. Бокситовые пластообразные осадочные месторождения терригенных толщ: Северо-Онежская (Иксинское и др.), Амангельдынское (Аркалыкское и другие группы месторождений СНГ).

К второстепенным относятся месторождения нефелиновых пород и алунита.

Горно-геологические условия месторождений алюминия. Северо-Уральская группа бокситовых месторождений расположена на Восточном склоне Северного Урала и включает месторождения Красная Шапочка, Кальинское, Черемуховское и Сосьвинское, которые приурочены к обширной древней карстовой провинции. Простирание бокситового пласта, залегающего среди известняков силура и девона, меридиональное и пласт падает на восток. Возраст бокситового горизонта раннеэфельский. Бокситоносный горизонт, протяженностью до 30 км, де-

лится разрывными нарушениями на блоки, которые представляют собой отдельные месторождения.

Промышленное бокситовое оруденение связано с субровским горизонтом, залегающим в основании эйфельских известняков (рис. 3.14). Рудный горизонт подразделяется на два подгоризонта: нижний — красные марки, немарки и яшмовидные бокситы и верхний — пестроцветные пиритизированные бокситы. Мощность красных бокситов варьирует от первых сантиметров до 9 м. Мощность подгоризонта пестроцветных бокситов не превышает 1 м. Красные марки бокситы заполняют впадины в известняках, красные немарки и яшмовидные тяготеют к склонам депрессий, пестроцветные распространены повсеместно. Основную ценность имеют красные бокситы.

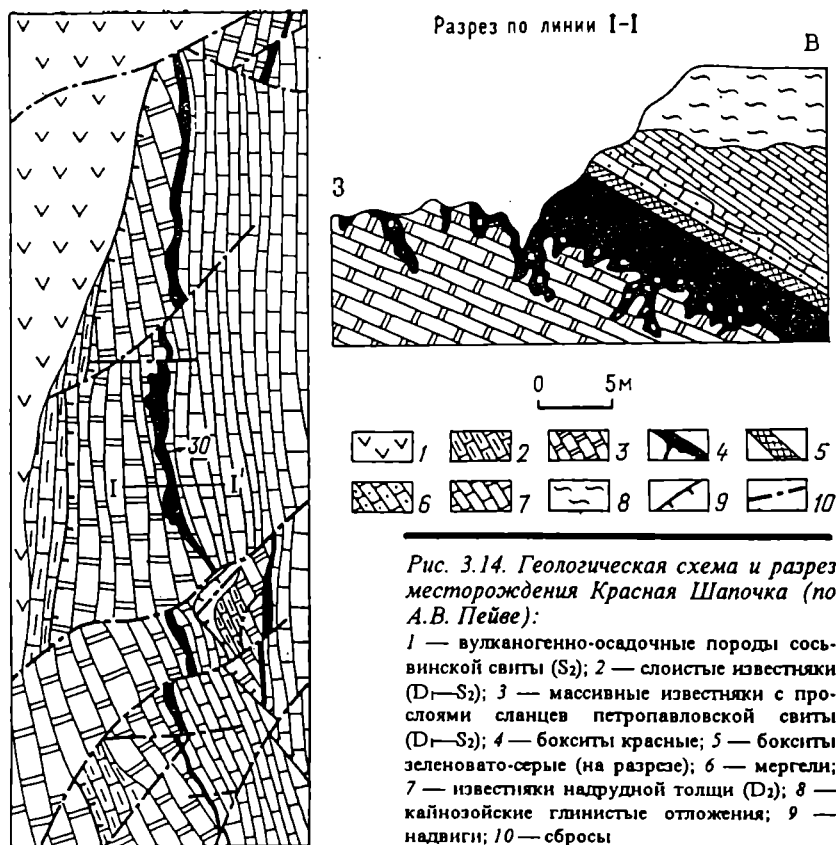


Рис. 3.14. Геологическая схема и разрез месторождения Красная Шапочка (по А.В. Пейве):

1 — вулканогенно-осадочные породы сосвинской свиты (S₂); 2 — слоистые известняки (D—S₂); 3 — массивные известняки с прослоями сланцев петропавловской свиты (D—S₂); 4 — бокситы красные; 5 — бокситы зеленовато-серые (на разрезе); 6 — мергели; 7 — известняки надрудной толщи (D₂); 8 — кайнозойские глинистые отложения; 9 — надвиги; 10 — сбросы

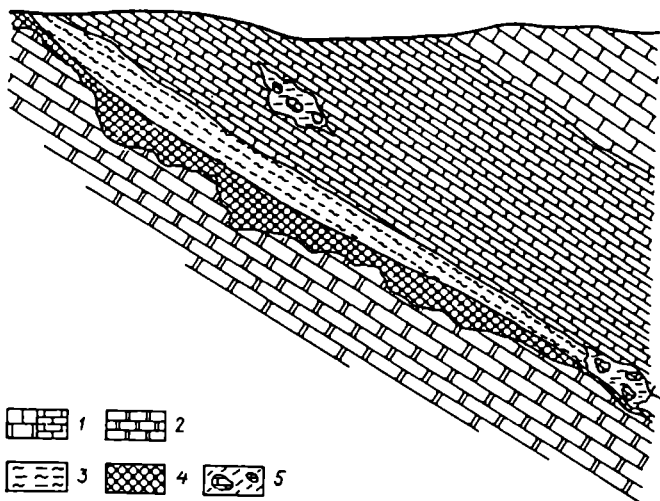


Рис. 3.15. Геологический разрез участка Кальинского месторождения СУБРа (по Н.А. Быховеру):

1—2 — известняки: 1 — кровли, 2 — почвы залега; 3 — глинистые сланцы кровли залега; 4 — бокситы; 5 — закарстованные участки

По минеральному составу красные бокситы относятся к диаспоровому типу, яшмовидные и пестроцветные — главным образом к диаспор-бемитовому, а бокситы-колчаданы — к пирит-диаспор-бемитовому. Основные минералы — диаспор, бемит, каолинит, гематит, кальцит, хлорит, пирит, сидерит. Красные бокситы характеризуются высоким качеством и следующим химическим составом (%): Al_2O_3 53—55, SiO_2 6, Fe_2O_3 23—25, CaO 1,6—2,5, S 0,12—0,14 (до 1,1), CO_2 1,9—3,6, TiO_2 2—2,5. Высокосернистые колчаданные и пестроцветные бокситы (серы 5,4—7,3 %) составляют 5 % общих запасов.

Кальинское месторождение. Северо-Уральского бассейна приурочено к моноклиальной части западного крыла Шегультанской синклинальной зоны и относится к карсто-пластообразному типу бокситовых месторождений карбонатных толщ.

Рудная залежь имеет сложную пластообразную форму (рис. 3.15). Промышленные руды залегают в депрессиях карстового рельефа, тогда как безрудные зоны имеют в плане неправильные очертания и приурочены к дорудным возвышенностям. Рудные поля разделяются на три типа по характеру оруденения:

непрерывный, непрерывно-прерывистый, прерывистый. На Кальинском месторождении по данным детальной разведки было выявлено семь безрудных «окон», размеры которых составляют десятки тыс. м². По данным отработки число безрудных «окон» увеличилось в 11 раз, но величина их уменьшилась в среднем на порядок.

К основным морфологическим элементам лежащего бока, осложняющим строение рудной залежи, относятся поноры — небольшие отверстия или группы расширенных трещин.

Тектоническая блокировка по месторождению является одним из факторов, определяющих рудоносность в плане и по мощности. Дизъюнктивные нарушения, преимущественно крутопадающие сбросы и взбросы, имеют субширотное простираание. Наиболее часто встречаются нарушения с амплитудой 20—30 м. Фактором, контролирующим пострудные тектонические нарушения, является поверхность висячего бока. По поверхности висячего бока устанавливается угол падения залежи, который изменяется от 18 до 40°.

С тектонической обстановкой и наличием безрудных участков связано и распределение мощности рудной залежи. Средняя мощность залежи составляет 5—6 м.

По качеству на месторождении выделены три типа руд: боксит-пестроцвет, боксит-красный и рудная брекчия. Изменения качества руды по различным направлениям незначительны. Более высоким качеством отличаются красные марки бокситы.

Коэффициент вариации (%) для Al_2O_3 (6,4—22,5), SiO_2 (50—74), CO_2 (8—15), S (44—150).

На месторождении выделено три водных комплекса: петровский (подрудный) общей мощностью 600 м, нижнеэйфельский (надрудный) мощностью до 200 м и верхний мощностью 700—1000 м. Невыдержанность водоупорных горизонтов по падению и простираанию, а также система тектонических нарушений обеспечивают связь между всеми водоносными комплексами. Суммарный нормальный водопиток на месторождении оценивается в 1150—1200 м³/час. Воды месторождения имеют следующие характеристики (в мг/л) — железо 0,55, кальций 3,1, магний 1,15, сульфаты 0,03, рН — 8,65. Общая жесткость воды составляет (мг/л) — 4,25, временная — 3,27.

Средняя плотность бокситов по типам изменяется от 2,5 до 3,2 т/м³, а вмещающих пород — 2,6—2,7 т/м³. Крепость бокситов по М. Протодяконову для красных бокситов 2—5, для пестро-

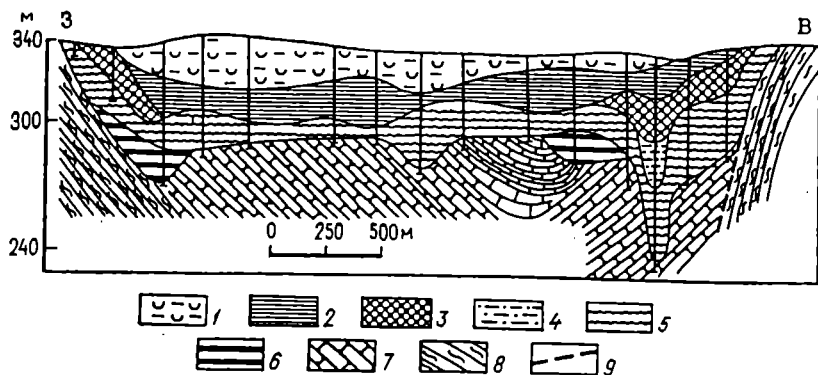


Рис. 3.16. Геологический разрез Аркалыкского месторождения
(по Г.С. Кирпалю):

1 — глины зеленовато-серые неогеновые; 2 — глины пестроцветные палеогеновые; 3 — бокситы каменистые рыхлые и глинистые; 4 — углисто-глиноземистая порода; 5 — глины подрудные; 6 — глины коры выветривания; 7 — известняки верхнего девона — нижнего карбона; 8 — песчано-глинистые сланцы верхнего девона; 9 — разрывные нарушения

цветных 8, а рудной брекчии около 10. Влажность бокситов колеблется от 2 % в пестроцветных до 7 % и более в красных.

Амгельдынская группа бокситовых месторождений расположена в Тургайской области Казахстана. В состав ее входят пять обособленных месторождений: Аркалыкское, Северное, Верхне-Ашутское, Нижне-Ашутское и Уштобинское.

В геологическом строении района и месторождения принимают участие породы докембрия, палеозоя, мезозоя и кайнозоя. Складчатый фундамент сложен дислоцированными метаморфическими, изверженными и осадочными породами докембрия и палеозоя. На неровной поверхности интенсивно размытого складчатого фундамента горизонтально залегает толща мезокайнозойских отложений, представленных песчано-глинистыми образованиями (рис. 3.16).

Бокситоносная аркалыкская свита палеогена представлена в нижней части песчано-глинистыми отложениями, на которых расположены каменистые рыхлые, сахаристые и глинистые бокситы. Бокситы фациально смещаются гиббситсодержащими каолиновыми глинами.

Бокситовые месторождения приурочены к зоне контакта песчано-сланцевой толщи франского яруса и карбонатных по-

род фамена. Большинство бокситовых залежей относится к контактово-карстово-котловинному типу, а некоторые мелкие залежи являются типично карстовыми.

Геологические факторы промышленного освоения месторождений бокситов Амангельдынской группы рассмотрены на примере Верхне-Ашутского месторождения.

Рудные тела на Верхне-Ашутском месторождении представлены пластообразными и линзовидными залежами. Угол падения рудных тел (на месторождении выделено 23 тела) изменяется от 0 до 40°, при среднем значении 25°. Изменчивость угла падения и азимута простираения рудных тел переменная в их пределах. Глубина залегания месторождения от 15 до 120 м.

Характер контактов рудных тел с вмещающими породами как по висячему, так и лежащему бокам нечеткий. Мощность рудных тел изменяется от 1 до 20 м, составляя в среднем 5—6 м. Изменчивость мощности является переменной как в пределах самих рудных тел, так и в пределах отдельных технологических блоков.

Усложнение формы и внутреннего строения рудных тел обусловлено наличием раздувов, пережимов, безрудных окон, некондиционных прослоев. Существенные тектонические нарушения дизъюнктивного типа практически отсутствуют. Характер выклинивания рудных тел преимущественно сложный.

Основные рудообразующие минералы бокситов — гиббсит, гематит и каолинит, а второстепенные — галлуазит, кварц, гетит, рутил, гипс, кальцит и др.

Химический состав бокситов следующий (%): Al_2O_3 46,42—57,11, SiO_2 9,57—14,54, Fe_2O_3 11,2—14,6. В качестве элементов-спутников в бокситовых рудах присутствуют барий и галлий. Вредными компонентами руд являются SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , S и CO_2 .

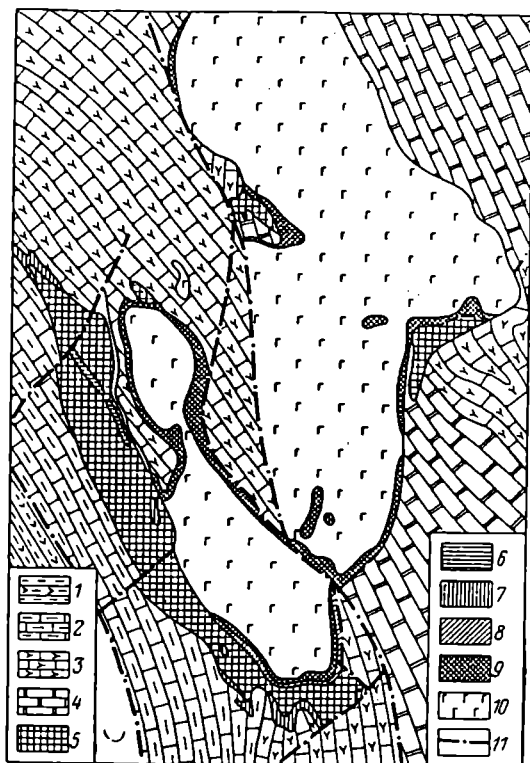
Характер распределения основных компонентов в руде по коэффициенту вариации — равномерный ($V = 10$ —40 %). Изменчивость распределения основных компонентов в пределах рудного тела существенная (20—50 %), а в пределах технологического блока слабая (менее 20 %).

На месторождении проявляется вертикальная зональность, что связано с увеличением Al_2O_3 и SiO_2 с глубиной и уменьшением Fe_2O_3 .

Бокситовые руды разделяются на следующие сорта или типы: 1) гидрохимические (байеровские), 2) спекательные, 3) металлургические; 4) абразивные.

Рис. 3.17. Схематическая геологическая карта Кия-Шалтырского месторождения нефелиновых руд. По А. Мостовскому:

1 — сланцы, порфириты и их туфы; 2 — ритмично-слоистые известняки; 3 — туффиты, туфы, известняки; 4 — органические известняки; 5 — уртиты; 6 — порфировидные ийолит-уртиты; 8 — плагиоклаз-содержащие уртиты; 9 — габбро-пироксениты, пироксениты; 10 — габбро; 11 — тектонические нарушения



Крепость по М. Протодяконову для руд составляет 1,5—6, пород висячего бока — 1—1,5 и пород лежащего бока 1.

Средняя плотность бокситовых руд по типам следующая (т/м³): каменистый — 2,5, рыхлый — 2,2, сухаристый — 1,8, глинистый — 1,8. Влажность руды в среднем составляет 15 %.

Кия-Шалтырское месторождение расположено в северной части Кузнецкого Алатау. В геологическом строении его участвуют разнообразные по возрасту (от протерозоя до девона), осадочные, осадочно-вулканогенные и метаморфические породы, а также интрузивные породы преимущественно основного и щелочного состава. Месторождение приурочено к массиву щелочных габброидов, которые прорывают вулканогенно-осадочные породы алданского яруса и известняки усинской свиты нижнего кембрия (рис. 3.17). Интрузивный массив имеет форму штока, который вытянут в меридиональном направлении на 3 км при ширине 2 км.

Рудное тело представлено уртитом и залегает в юго-западной части массива, вдоль контакта гипидиоморфнозернистых габбро с карбонатными породами. Рудное тело в плане имеет подковообразную форму, на глубину форму клина. Общая протяженность рудного тела на поверхности 2,3 км, на глубине 540—690 м от поверхности рудное тело выклинивается.

Угол падения рудного тела 80—90°, изменчивость угла его падения выдержанная. Характер контактов рудного тела по вскаем боку четкий, а по лежащему — нечеткий. При этом сложно-извилистый нечеткий контакт проявляется в основном на южном фланге рудного тела. На месторождении отмечаются нарушения типа сбросов и взбросов с амплитудой смещения до 30 м. Характер выклинивания, как правило, простой.

Основными компонентами руд месторождения являются Al_2O_3 , K_2O , Na_2O ; вредные компоненты — Fe_2O_3 , SiO_2 . Характер распределения основных компонентов неравномерный (коэффициент вариации 40—100 %). На месторождении выделено четыре типа руд: высокоглиноземистые (богатые) — 15 %; низкоглиноземистые (бедные) — 20 %; рядовые — 50 %; низкощелочные — 15 %. Забалансовые руды составляют 10 % общего количества запасов. Следует отметить, что нефелин южного фланга рудного тела и по тектоническим зонам полностью замещен вторичными минералами. Это обуславливает резкое снижение K_2O и Na_2O . Химический состав руд сравнительно постоянен (%): Al_2O_3 27,75, SiO_2 40,44, Fe_2O_3 4,93; $Na_2O + K_2O$ 13,26. Крепость по М. Протодьяконову: руд 8—12; пород вскаемого бока 8—12; пород лежащего бока 10—14. Средняя плотность руд 2,67 т/м³. Влажность руды 0,08 %. Коэффициент разрыхления 1,5.

3.7. МЕДЬ

Общие сведения

Применение. Медь обладает высокой электро- и теплопроводностью, химической устойчивостью, ковкостью, тягучестью и поэтому используется в различных отраслях промышленности: электротехнической и средств связи (50 %), машиностроительной (25 %), строительной, пищевой и химической (25 %). Широко известны сплавы меди с оловом, свинцом, алюминием,

кремнием, бериллием, (бронзы), цинком (латунь), никелем (мельхиор) и др.

Геохимия и минералогия. Кларк меди 0,01 %, коэффициент концентрации — 200. Повышенное содержание ее характерно для умеренно кислых гранитоидов, основных пород и реже для кислых гранитов. Известно более 240 минералов меди. Промышленное значение имеют самородная медь, халькопирит CuFeS_2 (34 %), борнит CuFeS_4 (63,3 %), ковеллин CuS (66,4 %), халькозин Cu_2S (79,8 %) блеклые руды $\text{Cu}_3(\text{AsSb})\text{S}_3$ (52—57 %), куприт CuO_2 (88,8 %), малахит CuCO_3 (57,4 %), азурит $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2$ (55,3 %) и хризоколла $\text{CuSiO}_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ (36,1 %).

Типы руд и кондиции. Медные руды делятся на два промышленных типа: сульфидные и оксидные, 90 % меди выплавляют из сульфидных руд, остальное количество приходится на самородную медь, оксиды, карбонаты и др. Попутно из медных (сульфидных) руд извлекаются молибден, цинк, свинец, золото, рений, кадмий, индий, висмут, никель, кобальт, платиноиды, селен, теллур, сера и др. Их стоимость нередко превышает стоимость меди. Требования к медным рудам зависят от их состава, масштаба запасов и способов разработки месторождений. Мелкие монометалльные месторождения эксплуатируются при минимальном содержании меди 2—3 % для крупных оно может снижаться до 1 %, при открытой добыче — 0,5 %, а для крупных комплексных месторождений — до 0,3 %.

Запасы и добыча. Общие мировые (без стран СНГ) запасы меди составляют 843 млн т, разведанные — 466 млн т. Основная часть (80 %) разведанных запасов приходится на США и Чили (по 85 млн т), Замбию и Канаду (по 29 млн т), Конго (25 млн т) и Перу (27 млн т). Добыча меди осуществляется в 37 странах мира и достигла 6,3 млн т; большую часть (80 %) добывают США (1,1 млн т), Чили (1,4 млн т), Канада (0,8 млн т), Замбия, Конго, Австралия, Перу, Филиппины. Цены на медь на мировом рынке составляют 1300—1600 долл. за 1 т.

Типы промышленных месторождений меди

Среди промышленных месторождений меди по генетическому признаку выделяются магматические, гидротермальные, плутоногенные, скарновые, вулканогенно-осадочные, гидротермально-осадочные (стратиформные). В СНГ основными промышленными типами являются:

1) гидротермально-осадочные (34 % запасов, 29 % добычи) — Джезказган (Казахстан), Удокан (Забайкалье), а за рубежом Предсудетское (Польша), Мансфельд (Германия), Айнак (Афганистан), Роан-Антилоп, Чамбиши, Нчанга (Замбия), Камото, Мусоши (Конго) и др.;

2) вулканогенно-осадочные медно-колчеданные (17,5 % запасов и 23 % добычи) — Дегтярское, Учалы, Гай, Сибай (Урал), Уруп, Алаверды, Шамлунг (Кавказ), за рубежом — Рио-Тинто (Испания), Бор (Югославия), Эргани (Турция), Болиден (Швеция), Кидд-Крик (Канада), Юнайтед-Верде (США) и др.;

3) гидротермальные медно-порфировые (18 % запасов и 16 % добычи) — Коунрад, Бошекуль (Казахстан), Кальмакыр (Средняя Азия), Каджаран, Агарак (Закавказье), Сорское (Западная Сибирь). За рубежом крупные месторождения известны в Болгарии (Медет, Асарел), Иране (Сары-Чешме), Монголии (Эрденет), США (Кляймакс, Бингем), Канаде (Вэлли-Копер), Перу (Токепала), Чили (Эль-Тениенте, Чукикамата);

4) магматические медно-никелевые (18 % запасов и 16 % добычи) магматические ликвационные месторождения сульфидных медно-никелевых руд уже рассмотрены (см. раздел «Никель, кобальт»).

За рубежом главное значение имеют гидротермальные медно-порфировые (65 % запасов, 60 % добычи), гидротермально-осадочные (20 и 18 %) и вулканогенно-осадочные медноколчеданные (8 и 11 %).

Горно-геологические условия месторождений меди

Удоканское месторождение находится в северо-восточной части Олекмо-Витимской горной страны хр. Удокан. Месторождение приурочено к брахисинклинальной складке, вытянутой в северо-западном направлении. Падение крыльев складки 10-40°. Сложена она метаморфизованными терригенными отложениями двух верхних свит удоканской серии раннего протерозоя: сакуканской (с горизонтами медистых песчаников) и перекрывающей ее намингинской свитой (рис. 3.18).

Сакуканская свита разделяется на две подсвиты: нижнюю и верхнюю. Нижняя подсвита сложена мелко- и тонкозернистыми песчаниками. В основании подсвиты залегает маломощный прерывистый горизонт базальных пород — конгломератов, гравелитов с гальками гранитов и кварцитов. Мощность подсвиты 1000—1200 м. Верхняя подсвита представлена мелко- и

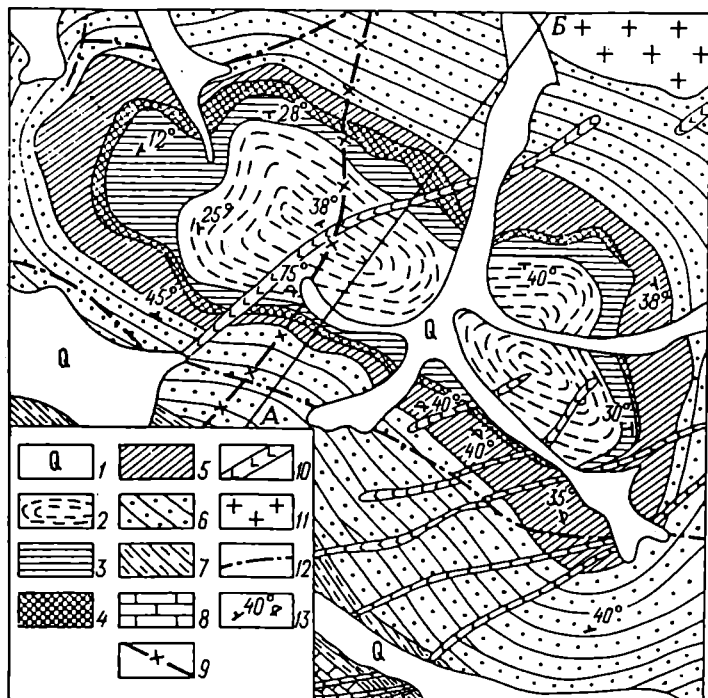


Рис. 3.18. Схема геологического строения месторождения Удокан.

По Э. Гринталю и В. Четкинцу:

1 — четвертичные отложения; 2 — намингинская свита — алевролиты, песчаники, аргиллиты; 3—5 — верхняя подсвита сакуканской свиты; 3 — надрудная пачка (известковистые и кварцитовые песчаники, алевролиты), 4 — рудная пачка (известковистые и кварцитовидные песчаники, алевролиты), 5 — подрудная пачка (кварцитовидные и известковые песчаники, алевролиты, конгломерато-брекчии); 6 — средняя подсвита сакуканской свиты — магнетитсодержащие песчаники, гравелиты; 7 — нижняя подсвита сакуканской свиты — песчаники, филлитовидные сланцы, гравелиты, конгломерато-брекчии; 8 — бутунская свита — известняки, алевролиты, известковистые песчаники; 9 — дайки граносениит-порфиров; 10 — дайки габбро-диабазов; 11 — граниты чуйско-кодварского комплекса; 12 — тектонические нарушения; 13 — элементы залегания

тонкозернистыми полевошпат-кварцевыми песчаниками и алевролитами с кварц-серицитовым цементом.

В пределах месторождения верхняя подсвита подразделяется на три пачки — подрудную, рудную и надрудную. Подрудная пачка мощностью до 250 м сложена серыми и розовато-серыми мелко- и среднезернистыми косослоистыми кварц-полевошпатовыми песчаниками с кальцитовым и серицит-кварцевым цементом.

Рудная пачка представлена аргиллитами, алевролитами, песчанистыми известняками, конгломератами и брекчиями. Песчаники составляют около 90 % рудной пачки, а глинистые породы — около 5 %. Мощность рудной пачки существенно изменяется в различных частях месторождения, так на востоке она не превышает 20 м, на юге — 140 м, а на севере — 330 м.

Надрудная пачка сложена светло-серыми и розовато-серыми мелкозернистыми волнисто-слоистыми кварц-полевошпатовыми песчаниками, реже алевролитами. Медная минерализация в отложениях данной пачки отсутствует.

Намингинская перекрывающая свита венчает разрез удоканской серии и представлена переслаивающимися серыми, темно-серыми, часто черными алевролитами и аргиллитами с подчиненным количеством розовато-серых песчаников. Мощность свиты не более 1000 м.

Отложения удоканской серии прорваны верхнепротерозойским массивом гранитоидов, многочисленными дайками основных пород и редкими дайками граносиенит-порфиров также протерозойского возраста.

На месторождении широко развиты дизъюнктивные нарушения типа надвигов, сбросов, взбросо-сдвигов, которые часто сопровождаются зонами дробления различной мощности. Наиболее крупные разрывы взбросо-сдвигового характера имеют северо-восточное простирание и крутое (60—80°) падение на юго-восток. Часто такие нарушения наследуются дайками габбро-диабазов. Амплитуда смещения (перемещения) изменяется от первых десятков метров до нескольких сотен метров. Послойные зоны дробления встречаются в разрезе рудной толщи через каждые 30—70 м мощность их составляет 10—20 см и прослеживаются они на сотни метров до 2—3 км. На месторождении широко распространены также трещины скалывания и отрыва, иногда выполненные кварцем и кальцитом, а в пределах рудного горизонта сульфидами меди — борнитом, халькопиритом и халькозином.

Контуры меденосного горизонта проводятся по появлению в породах видимой и сравнительно равномерной вкрапленности медных минералов при содержании меди не менее 0,1 %.

Рудные тела на месторождении представлены сложными по конфигурации пласто- и линзообразными залежами, нередко расслоенными и расположенными кулисообразно. На отдельных участках выделяют несколько основных рудных тел, выдержанных по простиранию на расстояние 2—3 км. Наиболее крупные и богатые рудные тела расположены в северном крыле Намингинской брахисинклинали. Они имеют общее юго-западное склонение. В южном крыле мощность рудных тел значительно сокращается.

Внутреннее строение рудных тел определяется частым чередованием и постепенными взаимопереходами слоев с различной интенсивностью оруденения как по падению и по простиранию, так и по мощности, что придает телам вид слоеного пирога. Компактность рудных тел, особенно на их флангах нарушается из-за наличия безрудных прослоев, что выражается в изменении коэффициента рудоносности от 1 до 0,2 (среднее значение 0,6—0,8). Мощность слабрудных и безрудных прослоев внутри рудных тел варьирует от первых сантиметров до 5 м.

Наиболее часто на месторождении встречаются рудные тела следующей мощности: сульфидные руды 10—20 м (44 %), 20—50 м (33 %); смешанные окисленные руды 10—20 м (45 %); 20—50 м (26 %) и руды без разделения по сортам 10—20 м (45 %), 20—50 м (29 %). При этом, относительные запасы руды, сконцентрированные в телах этой мощности, не очень значительны и уменьшаются по мере снижения минимально-промышленного содержания меди.

Минеральный состав руд месторождения характеризуется постоянством. Главные первичные минералы меди — халькозин, борнит, халькопирит. В рудах широко распространены пирит и магнетит, часто встречается гематит. К редким минералам относятся валлериит, молибденит, виттихенит, пирротин, сфалерит, марказит, теннактит, полидимит, кобальтин, штромейерит, самородное серебро. В первичных рудах до 60—65 % меди приходится на халькозин, 20—25 % — на борнит, и 10—15 % на халькопирит. Из вторичных минералов широко распространены брошантит, антлерит, малахит, азурит, ковеллин, халькозин, гетит, гидрогетит. Реже встречаются тенорит, куприт, бор-

нит, самородная медь, долафосит, халькантит, хризоколла, мелантерит, ярозит и др.

В рудах месторождения выделяются три главные парагенетические минеральные ассоциации: пирит-халькопиритовая, халькопирит-борнитовая и борнит-халькозиновая, которые представляют собой основные минеральные типы первичных руд. Нерудные минералы в рудах представлены кварцем, калиевым полевым шпатом, плагиоклазом, кальцитом, серицитом, гипсом, хлоритом.

Борнит-халькозиновые руды — самые распространенные на месторождении. Они представляют собой мелкозернистые светло-серые, слабоизвестковистые кварцитовидные песчаники, реже темно-серые алевролиты, содержащие тонкую (сотые — десятые доли миллиметра) вкрапленность халькозина и борнита. Средний размер рудных зерен — 0,3—0,35 мм. Для борнит-халькозиновых руд обычна вкрапленная текстура. Однако, чередование слойков с различной интенсивностью оруденения обуславливает довольно широкое развитие слоистых текстур. Мощность слойков с густой вкрапленностью сульфидов колеблется от 1 мм до 1 см. Среди этого вида текстур выделяются разновидности — косослоистые, волнисто-слоистые и др. Из структур наиболее характерны цементная и графическая.

Пирит-халькопиритовые руды представляют собой косослоистые, мелкозернистые песчаники и алевролиты серого, темно-серого цвета с зеленоватым оттенком, содержащие тонкую вкрапленность пирита и халькопирита размером сотые — десятые доли миллиметра при средних значениях 0,2 мм. В песчаниках рудная вкрапленность неравномерная. В алевролитах рудная минерализация располагается послойно. Текстуры руд аналогичны текстурам борнит-халькозиновых руд.

Борнит-халькопиритовые руды являются переходной разновидностью между борнит-халькозиновыми и пирит-халькопиритовыми и распространены на месторождении менее всего.

Для борнит-халькозиновых руд характерны следующие элементы-примеси — Ag, Bi, Mo, Re, Rb, Sb. Для пирит-халькопиритовых — Zn, Co, Ni, Sc, Te.

На месторождении установлена прямая связь размера рудных зерен с гранулометрическим составом рудоносных пород. В крупно-среднезернистых известковистых песчаниках размер рудных зерен наибольший, а самая мелкая рудная вкрапленность отмечена в алевролитах. На месторождении комплекс

пород с мелкой рудной вкрапленностью преобладает, что оказывает негативное влияние на обогащение руд, так как из-за обилия в руде тонких трудновскрываемых рудных зерен большое количество меди теряется в хвостах.

В размещении минеральных типов руд на месторождении устанавливается отчетливая зональность в плане и разрезе меденосной толщи. Горизонтальная зональность состоит в следующем. Северное крыло месторождения характеризуется преобладанием борнит-халькозиновых руд и соотношением мощностей пирит-халькопиритовых и борнит-халькозиновых руд колеблется от 1:2 до 1:20. К центру в сторону погружения к донной части брахисинклинали уменьшается доля борнит-халькозиновых руд за счет возрастания доли пирит-халькопиритовых руд. На южном крыле доля борнит-халькозиновых руд вновь возрастает, но соотношение их мощностей с мощностями пирит-халькопиритовых достигает только 3:1.

В разрезе меденосной толщи на северном крыле брахисинклинали вертикальная зональность выражается в смене вверх по разрезу пирит-халькопиритовых руд на борнит-халькозиновые. В центральной части месторождения отмечена симметричная вертикальная зональность — центр залежи сложен пиритовыми рудами, которые к почве сменяются на пирит-халькопиритовые и к кровле на борнит-халькозиновые. В южном крыле пирит-халькопиритовые руды расположены в верхней части рудной залежи, а борнит-халькозиновые в — нижней.

В целом для месторождения отмечается преимущественная приуроченность богатых борнит-халькозиновых руд к сравнительно грубозернистым отложениям (фации дельтовых осадков), а пирит-халькопиритовых — к более мелкозернистым породам (глубоководные фации бассейна).

При выходе рудных тел на дневную поверхность руды повсеместно затронуты процессами окисления. В то же время на поверхности отмечаются рудные прослои со слабо окисленными сульфидными, а в разведочных скважинах в зонах трещиноватости (до глубины 1700 м) вскрываются руды, затронутые процессами окисления. Главными медными минералами зоны окисления являются сульфаты (брошантит, антлерит, халькантит) и карбонаты (малахит, азурит) меди. По относительному содержанию окисленной меди, на месторождении выделяются следующие геолого-технологические типы руд: сульфидные, смешанные и окисленные. В первых гипергенные минералы

слагают до 30 % руды, во вторых — 30—70 %, а в третьих — 70—100 %. Около 50 % запасов месторождения составляют сульфидные руды, 45 % — смешанные и 5 % окисленные.

Наибольшая степень окисления руд характерна для оруденелых кварцевых известковистых песчаников и участков интенсивной трещиноватости, примыкающих к разрывным нарушениям. Это обуславливает прерывистый пятнистый облик зоны окисления, сформировавшейся в два этапа — древний и современный. Упомянутые выше три геотехнологических типа руд объединяются в два сорта: первый сорт — сульфидные (неокисленные) руды, флотационные; второй сорт — смешанные и окисленные руды, пригодные для комбинированной переработки. По содержаниям меди все руды вне зависимости от степени окисления подразделяются на бедные, рядовые и богатые.

Общая схема размещения руд на месторождении такова. На дневной поверхности преимущественное распространение имеют окисленные руды, а смешанные — второстепенное. В приповерхностных участках наиболее распространены смешанные руды, менее распространены сульфидные руды, а окисленные размещаются на ограниченных площадях. На более глубоких горизонтах месторождения преобладают сульфидные руды, однако, иногда отмечаются и смешанные разности, которые с глубиной исчезают.

На площади месторождения в зависимости от положения водоносных горизонтов относительно слоя многолетнемерзлых пород, характера водовмещающих пород и их стратиграфического уровня выделяются три водоносных комплекса: 1) комплекс рыхлых отложений в сквозных таликах; 2) комплекс рыхлых отложений в зоне сезонного оттаивания (надмерзлотные воды); 3) комплекс трещиноватых метаморфических пород удоканской серии (подмерзлотные воды).

Мощность пород первого комплекса составляет 30—40 м. Воды покровно-пластовые и грунтовые.

Водообильность довольно высокая, т.к. удельные дебиты скважин варьируют от 21 до 90 л/с. Коэффициенты фильтрации пород комплекса колеблются от 200 до 450 м/сут. Для подземных вод этого комплекса характерны значительные амплитуды сезонных колебаний уровня, размах которых достигает 27 м. По химическому составу воды ультрапресные с минерализацией до 100 мг/л, гидрокарбонатные. Из катионов в них резко преобладают Na и Ca. Воды имеют pH 6,3—6,8, обладают сла-

бой общекислотной агрессивностью. Содержание в них свободной углекислоты не превышает 8,8 мг/л, кремнекислоты — 7 мг/л, органические свойства воды хорошие, температура 2—4 °С.

Второй водоносный комплекс рыхлых отложений в слое сезонного оттаивания существует сезонно и распространен практически по всей площади месторождения. Воды комплекса грунтовые, глубина уровней меняется в течение лета и осени от 1 до 2,5 м в зависимости от эксплуатации склона и его задернованности. Водовмещающими породами служат щебенисто-глыбовые образования с супесчаным и суглинистым заполнителем. Водообильность различная и зависит от состава заполнителя. Режим их весьма непостоянный, питание преимущественно атмосферное и за счет таяния льда льдистых рыхлых отложений. По химическому составу воды гидрокарбонатные, кальциево-натриевые, ультрапресные, очень мягкие, со слабокислой реакцией. Они очень прозрачны, холодные (0,1—1,5 °С), без привкуса и постороннего запаха. Из-за малой мощности сезонного оттаивания (0,5—2,5 м), неустойчивого режима, сезонности существования, подземные воды этого комплекса могут использоваться в летний период для местных нужд.

Третий водоносный комплекс развит в трещиноватых метаморфизованных песчаниках и алевролитах удоканской серии: ниже границы мерзлоты. По характеру циркуляции воды комплекса относятся к трещинному типу. Глубина их залегания определяется положением нижней границы мерзлоты, которая в зависимости от экспозиции склона проходит на абсолютных отметках от 1100 до 1500 м. Под мерзлотой воды комплекса напорные, с напором относительно нижней границы мерзлоты 20—30 м. Под таликами воды комплекса грунтовые. В течение года положение уровней подмерзлотных вод колеблется в пределах 15—20 м. Летом они растут, а с ноября-декабря падают. Водообильность комплекса относительно невысокая. Удельные дебиты скважин составляют 0,1—0,2 л/с при понижениях 16,5—1,9 м и дебитах 2,3—4 л/с. Водопроницаемость по результатам экспресс-наливов колеблется от 11 до 24 м³/с, при максимуме 316 м³/с. Коэффициенты фильтрации изменяются от 0,3 до 1,3 м/с. По составу подмерзлотные воды относятся к гидрокарбонатным и хлоридно-гидрокарбонатным с преобладанием катионов Са и Na, ультрапресные, очень мягкие с нейтральной реакцией. Количество свободной углекислоты не более 8 мг/л, окисляемость до 1 мг/л О₂.

Подземный сток подмерзлотных трещинных вод радиально направлен от месторождения, как области питания, в стороны Нижнеингамитской и Верхне-Чарской впадин с концентрацией линий стока к зонам разломов и по долинам основных рек.

Основные физико-механические свойства пород рудной пачки Удоканского месторождения имеют следующие характеристики: песчаник среднезернистый — средняя плотность 2,5—2,7 г/см³, пористость 3 %, предел прочности на сжатие 139,2 МПа, предел прочности на растяжение 11,4 МПа, модуль Юнга $5,2 \cdot 10^{-6}$ МПа, коэффициент Пуассона 0,23; песчаник мелкозернистый (соответственно) — 2,6—2,68; 2; 976; 107; $6,26 \cdot 10^{-6}$; 0,17; алевролит — 2,6—2,7; 3; 524; 83; $6,65 \cdot 10^{-6}$; 0,24; аргиллит — 2,56—2,6; 2; 382; 70; $6,7 \cdot 10^{-6}$; 0,23; песчаник рудный — 2,74—2,8; 1,49; 1660—2700; 94—130; $5,5-8,2 \cdot 10^{-6}$; 0,18—0,22.

Из специфических горно-технических особенностей месторождения необходимо отметить его положение в районе с довольно высокой сейсмоактивностью. В разные годы в районе хр. Кадар и Удокан отмечались землетрясения силой до 8 баллов.

Джезказганское месторождение расположено в Казахстане. В рудном районе обнажены верхнепалеозойские (карбон-пермь) осадочные породы, слагающие синклинальную складку меридионального направления, осложненную разрывными нарушениями северо-восточного простирания. Оруденение многоярусное. Пластообразные рудные тела мощностью 2,3 м приурочены к горизонтам серых полимиктовых песчаников. Основное значение для локализации оруденения имеют брахискладки сундучного типа с зонами дробления (см. рис. 2.16).

Рудные тела представлены пластами. Угол падения рудных тел до 8°, во флексуре 35—90°. Изменчивость угла падения выдержанная в пределах рудного тела, но переменная в пределах месторождения. Изменчивость азимута простирания также выдержанная в пределах рудных тел. Глубина залегания месторождения 250 м.

Рудные тела четких геологических границ не имеют, контуры их определяются опробованием. По простиранию промышленные руды постепенно, но на сравнительно небольших расстояниях сменяются забалансовыми, а затем слабо минерализованными породами. Средняя мощность рудных тел изменяется от 4—5 до 20 м, предельная мощность достигает 36 м. Изменчивость мощности является переменной в пределах отдельных рудных тел. Усложнение формы и внутреннего строения тел

обусловлено переслаиванием красноцветных вмещающих пород с рудными телами. Характер выклинивания рудных тел от простого до сложного. В зоне флексуры развиты надвиговые нарушения с суммарной амплитудой смещения до 75 м.

Руды Джезказганского месторождения комплексные: главный полезный компонент — медь, существенное значение имеют также свинец и цинк, а из примесей серебро и рений; в незначительных количествах присутствуют мышьяк, кадмий, висмут, кобальт, ртуть, золото, никель и молибден.

Минеральный состав руд сравнительно прост. Основная масса меди сконцентрирована в халькопирите, борните и халькозине. Свинцовая минерализация представлена галенитом, а цинковая — сфалеритом. Серебро присутствует в рудах в виде самостоятельных минералов (в т. ч. и самородное серебро) или же входит в виде изоморфной примеси в решетки сульфидов. Из минералов-примесей в рудах установлены также пирит, маркизит, арсенопирит, бетехтенит, арсениды меди и кобальта, блеклые руды.

Текстуры руд вкрапленные, полосчатые и редко массивные. Рудными минералами замещен карбонатный цемент песчаников. Ассоциация сульфидов меди возникла преимущественно метасоматическим путем в первую стадию. Со второй стадией связано отложение сульфидов меди, свинца и цинка. Еще более поздними являются прожилки с минералами серебра, а также жильными минералами.

Характер распределения основных компонентов от равномерного до крайне неравномерного (коэффициент вариации 10—200 %). Изменчивость распределения компонентов — резкая (более 50 %) в пределах технологических блоков. На месторождении отмечается четкая вертикальная зональность в распределении медных полиметаллических (медно-свинцовых) и свинцовых руд. Мощность зоны окисления достигала 100 м (в настоящее время полностью отработана).

При геолого-технологическом картировании на месторождении выделено пять промышленных типов (сортов) руд: медно-окисленные — 17 %; медно-смешанные — 6 %; медно-сульфидные — 74,8 %, медно-свинцовые — 0,4 %; свинцовые — 1,8 %. По качеству руды разделяются на богатые — 30 %, рядовые — 37 %, бедные — 30 % и весьма бедные — 3 %.

Крепость по М. Протодяконову: руд 14—16, пород висячего и лежащего бока 8—10. Руды являются устойчивыми, по-

роды висячего и лежащего бока неустойчивые. Средняя плотность руд в зависимости от типа (сорта) и содержания в руде меди изменяется от 2,5 до 3 т/м³.

Кусковатость руды во взорванной массе от 150 до 3000 мм, среднее значение 500—700 мм. Руды не склонны к слеживанию и к самовозгоранию. Влажность руды составляет 2—4 %. Коэффициент разрыхления 1,3—1,7.

Гайское месторождение расположено на Южном Урале и приурочено к палеозойской вулканокупольной структуре, осложненной продольными и поперечными разрывными нарушениями. В поперечном разрезе вулканокупольная структура имеет ассиметричную форму. Падение пород в западном крыле не более 20°, а в восточном — 40—60°. Центральная часть вулканической постройки выполнена эффузивно-пирокластическими и субвулканическими породами ранне- и среднедевонского возраста, а фланговые части — терригенными туфогенно-осадочными отложениями среднего девона.

Ранне-среднедевонский вулканический комплекс подразделяется на три толщи: нижнюю (подрудную), сложенную лавами и туфами дацитовых, андезито-дацитовых и андезитовых порфиритов, мощностью 1300—1600 м, среднюю (рудовмещающую), именуемую эффузивно-пирокластической и сложенную широкой гаммой пирокластических пород (от пепловых туфов до глыбовых агломератов и брекчий). Рудовмещающая толща подразделяется на две пачки, нижнюю пирокластическую андезито-базальтового состава и верхнюю пирокластическую липарит-дацитового состава. Общая мощность рудовмещающей толщи около 800 м.

Верхняя (надрудная) толща сложена туфами, туфобрекчиями и лавобрекчиями базальтов, андезито-базальтов и порфиритов, с прослоями лав того же состава. Мощность надрудной (базальтовой) толщи достигает 600—650 м.

На размытой поверхности палеозойских отложений развития триас-нижнеюрская кора выветривания площадного и трещино-линейного типа средней мощностью 20—25 м, при максимальных значениях до 90 м в депрессиях и впадинах.

Покровная толща (рис. 3.19) представлена слоистыми глинами, мелкозернистыми кварц-полевошпатовыми песками (юрская система — мощность от 5 до 200 м), конгломератами, песчаниками и глинами (меловая система — 60 м), пестроцветны-

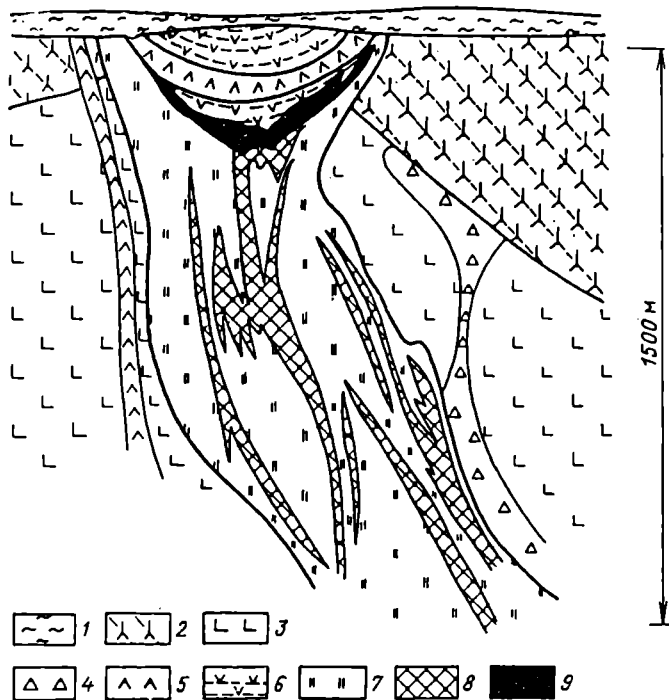


Рис. 3.19. Геологический разрез Гайского месторождения
(по В.И. Смирнову):

1 — рыхлые песчано-глинистые отложения; 2 — лавы, туфы диабазовых порфиритов; 3 — туфы, туфоагломераты, туфобрекчии липарит-дацитов; 4 — эггловзивные (агломератовые) брекчии; 5 — габбродиабазы; 6 — шлаковые туфы базальтов; 7 — измененные вулканокластические породы; 8—9 — руды; 8 — вкрапленные, 9 — богатые

ми глинами, песчаниками и галечниками (палеоген-неогеновые отложения — до 90 м).

На месторождении выделено четыре интрузивных комплекса: силурийско-нижнедевонский (серпентиниты, габбро, габбро-диориты), нижнедевонский-среднедевонский (субвулканические и жильные тела дацитов, андезито-дацитов, андезитов), среднедевонский (габбро-диабазы, диабазы) и ранне-карбоновый (габбро-диориты).

На месторождении установлено более 50 рудных тел, имеющих разнообразную форму (линзовидную, жило- и штокообразную, а также иную, более сложную). Большинство рудных

тел «слепые». Большая часть рудных тел концентрируется в северной части рудной зоны. Простираение их субмеридиональное, падение крутое на восток. Вертикальный размах оруденения достигает 1500 м.

На месторождении близрасположенные рудные тела принято объединять в залежи, число которых равно 5. Например, основной составляющей третьей залежи, объединяющей около 30 рудных тел является «Стержневая линза», на которую падает около 90 % запасов верхних горизонтов. «Стержневая линза» располагается в верхней части рудной зоны и в поперечном сечении в верхней части имеет грибовидную форму с волнистой, сравнительно пологой поверхностью «шляпки» и сложена массивными богатыми рудами. От нее отходит «ножка» значительно более бедных прожилково-вкрапленных руд и многочисленные ее ответвления. «Ножка» в верхней части располагается почти вертикально, а с глубиной обычно приобретает восточное падение.

Руды Гайского месторождения характеризуются отчетливо выраженной неоднородностью минерального состава. В них установлено более 20 гипогенных рудных минералов. Главные из них — пирит, халькопирит, сфалерит, блеклая руда, борнит и ковеллин. Второстепенными являются халькозин и галенит. Примесные минералы — арсенопирит, пирротин, пентландит, маркизит, мельниковит-пирит, самородное золото и серебро, аргентит, алтаит, теллуриды свинца и серебра.

Из нерудных минералов наиболее широко распространены кварц, серицит, кальцит, хлорит. Менее — эпидот, барит а также минералы вмещающих пород.

По текстурно-структурным особенностям гипогенные руды месторождения подразделяются на сплошные сульфидные, содержащие более 65 % сульфидов и прожилково-вкрапленные сульфидные (менее 65 % сульфидов), которые разделяются на промышленные сорта. Так в сплошных рудах различают медисто-колчеданные, медисто-цинковые, серно-цинковые и серно-колчеданные руды, а в прожилково-вкрапленных — медисто-колчеданные, медисто-цинковые и забалансовые медисто-колчеданные. По содержанию полезных компонентов руды разделяются на богатые, средние (рядовые), бедные и забалансовые.

Для сплошных руд наиболее характерны массивные текстуры, реже встречаются полосчатые, сланцеватые, пятнистые, брекчиевые и метаколлоидные, а прожилково-вкрапленных — прожилковые, вкрапленные, брекчиевидные.

Минеральные типы руд закономерно распределяются в пространстве в пределах рудных тел, залежей и рудного поля, обуславливая их зональное строение. На месторождении выделено два вида зональности: первого и второго порядка.

Зональность первого порядка проявляется в пределах рудного поля, а второго порядка — в пределах отдельных рудных тел. Примером последней может служить зональное строение «Стрежневой линзы» залежи № 3, центральная часть которой сложена сфалеритовыми рудами. Со всех сторон их облекают руды сфалерит-борнит-пиритовые с блеклой рудой. Под этими рудами располагаются сфалерит-халькопирит-пиритовые руды, ниже которых следует зона медисто-цинково-вкрапленных руд. С уменьшением в рудах содержания меди и цинка по вертикали и по простиранию от центра линзы к ее периферии они становятся более простыми по минеральному составу. Зональность первого порядка характеризуется обособлением рудных тел серноколчеданного состава от рудных тел и залежей, обогащенных сульфидами меди или меди и цинка.

Если рассматривать рудное поле в плане и по вертикали, то его центральная часть сложена серно-колчеданными рудами (залежь № 2, южная часть залежи № 4). По мере удаления от центра к периферии по простиранию в плане месторождения руды последовательно обогащаются медью и цинком. В вертикальном направлении установлена тенденция обогащения руд медью и затем цинком и свинцом вверх по разрезу, где локализируются наиболее сложные по составу минеральные типы руд.

Кроме того, на месторождении наблюдается определенная зависимость минерального состава прожилково-вкрапленных руд от состава вмещающих пород. Так в кварцитах развиты только пиритовые и халькопирит-пиритовые прожилково-вкрапленные руды с преобладающим развитием вкрапленных и мелкогнездовых текстур. Аналогичные по составу прожилково-вкрапленные руды наблюдаются и в гидротермально измененных пирокластических породах, но для них характерны брекчиевидные и неоднородные пятнистые текстуры.

В сильно измененных и рассланцованных породах (кварц-серицитовые, кварц-серицит-хлоритовые и серицитовые сланцы) в рудах помимо пирита и халькопирита в значительных количествах появляются сфалерит, борнит, галенит, блеклая руда.

Тела сплошных руд имеют четкие контакты с вмещающими породами, в деталях повторяющие все неровности и изгибы перекрывающих пород.

Границы прожилково-вкрапленных руд с вмещающими породами неясные, расплывчатые и определяются только по данным опробования. Гидротермально-метасоматически измененные породы, вмещающие тела прожилково-вкрапленных руд, несут убогую, как правило, пиритовую минерализацию.

Рудные тела и залежи, выходящие на дневную поверхность, подвержены интенсивному окислению, что обусловило образование мощной коры выветривания в породах и вторичной вертикальной зональности в рудах.

Поверхностные воды на месторождении представлены единственным полупересыхающим озером, расположенном на его восточном фланге. В период снеготаяния по ночам наблюдаются временные водотоки.

Подземные воды в четвертичных и палеоген-неогеновых отложениях отмечаются спорадически и связаны с линзами песка и древесных отложений, реже гипсов и загипсованных глин малой мощности. Глубина залегания уровня этих подземных вод составляет 3—15 м. Дебит колеблется от 0,03 до 0,05 л/с. Минерализация их достигает 20 г/л. На обводненность горных выработок практического влияния они не оказывают.

В юрских отложениях водовмещающими породами являются пески, алевроиты, конгломераты, галечники, залегающие в толще глин. Вскрываются они на глубинах от 8—10 до 40—50 м. Воды напорные, с удельными дебитами от 0,001 до 1,2 л/с. Коэффициенты фильтрации варьируют от 0,001 до 0,103 м/сут. Подпитка юрских горизонтов осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и за счет нижележащих палеозойских водоносных комплексов. По химическому составу воды сульфатно-алюминиево-железистые с минерализацией 4,2—6,1 г/л, с $pH = 2,5—3,2$. В водах постоянно присутствуют медь, цинк, марганец, серная кислота.

В палеозойских отложениях развиты преимущественно трещинные воды. Вне зависимости от литологического состава вмещающих пород, воды образуют единый водоносный комплекс. Глубина залегания его варьирует от 58 до 190 м, при мощности порядка 180 м. В его пределах выделяются три зоны трещиноватости.

Первая зона имеет мощность 30—40 м с удельным дебитом 0,01—0,19 л/с и коэффициентами фильтрации 0,095—0,103 м/сут.

Вторая зона имеет мощность 60—80 м с удельным дебитом 0,04—0,14 л/с и коэффициентами фильтрации 0,015—0,25 м/сут.

Третья зона имеет мощность 40—60 м с удельным дебитом 0,0001—0,0018 л/с и коэффициентами фильтрации 0,001—0,01 м/сут.

Химический состав шахтных вод Гайского месторождения следующий (мг/л): Са — 100, Mg — 65,5, Cu — 157,5, Zn — 20,6, Fe_{общ.} — 2156,8, SO₄²⁻ — 7983,1, Cl — 250,5, SiO₂ — 35, pH = 2,75, H₂SO₄ — 712,3. Сухой остаток — 13 731. Шахтный водоприток на месторождении составляет (м³/ч): среднечасовой — 53,4, максимальный — 61,1 и минимальный — 48,5.

Вмещающими породами на месторождении главным образом являются диабазы, туфы и туфобрекчии основного состава массивные, сплошные и устойчивые, модуль Юнга которых достигает $2,3 \cdot 10^{-6}$ МПа. Рудосодержащими породами являются разнообразные метасоматиты с модулем Юнга $6 \cdot 10^{-6}$ МПа. Коэффициент Пуассона для пород и руд 0,1—0,45. Коэффициент крепости по М. Протоdjяконову составляет для скальных пород 5—15, для сплошных руд 5—8, для вкрапленных 7—12. Категории буримости скальных пород — VI—XI, а руд — VIII—IX. Коэффициент разрыхления пород K_p — 1,5; сплошных руд 1,7—1,8; вкрапленных руд 1,5—1,6. Средняя плотность пород варьирует от 2,3 до 2,7 т/м³ а руд — 3,5—4,3 т/м³. Предел прочности при одностороннем сжатии — для пород 20—140 МПа, для сплошных руд 23,5—100 МПа, для вкрапленных руд — 10—120 МПа. Разрушающее напряжение при изгибе для скальных пород равно 13—46 МПа, а для руд 18—19 МПа. Естественная влажность руд достигает 2—5 %.

3.8. ОЛОВО

Общие сведения

Применение. Олово широко применяется благодаря легкоплавкости, мягкости, ковкости, химической устойчивости и способности давать высококачественные сплавы. Олово используется для приготовления белой жести и фольги (до 50 % производства), припоя, бронзы, для лужения, а также для получения баббита (для подшипников трения), типографских сплавов, эмалей.

Геохимия и минералогия. Кларк олова 0,0025 %. Массовая концентрация олова в земной коре, по А.П. Виноградову, составляет 0,00025 %, в ультраосновных породах 0,00005 %, в основных 0,00015 % и в кислых 0,0003 %. Таким образом, содержание олова от основных пород к кислым резко возрастает. Известно около 20 минералов олова, из которых промышленное значение имеют касситерит SnO_2 (78,62 %) и станнин CuFeSnS_4 (27,5 %).

Типы руд и кондиции. Олово извлекают из касситерит-силикатных, касситерит-сульфидных и касситерит-вольфрамитовых руд, которые по содержанию металла разделяют на богатые (> 1 %), средние (0,4—1 %) и бедные (0,2—0,4 %). Минимальное промышленное содержание олова составляет 0,1 %, в коренных месторождениях и 200 г/м³ — в россыпях.

Запасы и добыча. Общие запасы олова в капиталистических и развивающихся странах составляют 7,3 млн т, достоверные — 4 млн т. Основная часть их сосредоточена в Индонезии (0,7 млн т) Малайзии (0,6 млн т), Боливии и Бразилии (по 0,5 млн т), Таиланде (0,4 млн т). Производство олова в концентрате (достигает 190 тыс. т) приходится в основном на Малайзию (63), Индонезию (29), Таиланд (34), Боливию (30), Австралийский Союз (11), Бразилию (7) и др.

Цена 1 кг олова на мировом рынке 12—14 долл. СНГ имеет прочную минерально-сырьевую базу олова. Группы месторождений располагаются в Магаданской области, Респ. Саха (Якутия), Забайкалье, Приморье, Киргизии. По запасам металла (в тыс. т) месторождения олова делятся на весьма крупные (> 100), крупные (25—100), средние (5—25), мелкие (5).

Промышленные типы месторождений

Среди промышленных месторождений по генезису выделяются следующие.

1) пегматитовые (4,2 мировых запасов, 3,4 % добычи) — Манано-Китотало (Конго), Сильвер-Хим (США), Берд-Ривер (Канада). В странах СНГ месторождения данного типа не играют существенной роли;

2) гидротермальные плутоногенные (14,6 мировых запасов, 16,2 % добычи). Среди гидротермальных плутоногенных месторождений выделяются два типа:

а) касситерит-кварцевый — месторождения Онон, Ималка (Забайкалье), Иультинское (Чукотка), Корнуолл (Великобритания), а также месторождения Португалии, КНР, Нигерии;

б) касситерит-силикатно-сульфидный — месторождения Хапчеранга (Забайкалье), Эге-Хая, Депутатское (Респ. Саха — Якутия), Хрустальное (Приморье), Валькумей (Чукотка), Крофти (Великобритания), Маунт-Плезант (Канада), Рениссон-Бел (Австралия), Менсон-Лод (Малайзия);

3) гидротермальные вулканогенные (11,2 % мировых запасов, 9,3 % добычи). Смирновское, Джалинда, Хинганское (СНГ), Ллалагуа, Потоси, Оруро (Боливия), Дуранга (Мексика), Акеноди (Япония);

4) грейзеновые (6,4 % мировых запасов, 38 % добычи) — Этыка (Забайкалье), Экуч (Чукотка), Кестер, Бутыча (Респ. Саха — Якутия), Чапаевское (Приморье), Актас (Средняя Азия), Мауги (Мьянма), Альтенберг (Германия), Циновец (Чехия), Лиму (КНР);

5) скарновые месторождения: (1,1 % мировых запасов, 1,2 % добычи) — Ярославские (Приморье), Майхура (Средняя Азия), Питкяранта, Кителя (Карелия), Лаочан (КНР), Клаппа (Индонезия), Сан-Антонио (Мексика);

6) осадочные россыпные (62,4 % мировых запасов, 66,1 % добычи) Пыркакай (Чукотка), Депутатское (Респ. Саха — Якутия), Воскресенское (Приморье), Кинта, Перак (Малайзия), Банка (Индонезия), Ньюшипо (КНР), Тин-Тук (Вьетнам), Манонно-Ки-тотоло (Конго), Баучи, Джос (Нигерия).

Горно-геологические условия месторождений олова

Хрустальное месторождение расположено в западном крыле крупной синклинали, в пределах которой развиты алевролиты и песчаники триаса и юры (рис. 3.20). Рудные тела представлены 63 жилами и 4 штокверками. Рудные жилы приурочены к тектонической зоне, контролирующей распространение даек диабазовых порфиров. Протяженность жил до 1—3 км, падение крутое (до 85—90°, среднее — 65°). Изменчивость угла падения и азимута простираения переменная в пределах рудных тел. Мощность жил на отдельных участках месторождения достигает 10—14 м, а среднее значение составляет 1,4. Характер контактов рудных тел с вмещающими породами как по висячему боку, так и лежащему — нечеткий. На месторождении преобладают тектонические дизъюнктивные нарушения с амплитудой смещения 1—6 м, но на отдельных участках амплитуда смещения достигает 40—50 м. Характер выклинивания рудных

теритовые. Главные минералы — кварц, касситерит, пирротин; часто отмечаются пирит, арсенопирит, сфалерит, галенит, флюорит. Текстуры руд полосчатые, брекчиевые, массивные, вкрапленные, колломорфные. Зональность оруденения выражается в смене от центра к флангам жил высокотемпературных ассоциаций низкотемпературными.

Компонентный состав руд Хрустального месторождения следующий: основной компонент — олово, элементы-спутники — свинец, цинк, медь, серебро, элементы-примеси — индий, висмут, вредные компоненты — мышьяк, пирротин, пирит. Характер распределения олова в рудах крайне неравномерный (коэффициент вариации 165—200 %).

По качеству руды разделяются на богатые 25 %, рядовые 50 % и забалансовые 25 %).

Крепость руд и вмещающих пород по шкале М. Протодяконова 9—16. Руды и породы всячего и лежащего бока устойчивые. Средняя плотность кварц-касситеритовых руд 2,85 т/м³ и сульфидно-касситеритовых 3,2 т/м³. Руды склонны к слабому слеживанию и очень широкому самовозгоранию. Влажность руд 3—4 %. Коэффициент разрыхления руд 1,5—1,8.

Депутатское месторождение расположено на территории Респ. Саха (Якутия) в междуречьи Яны и Индигирки. В геологи-

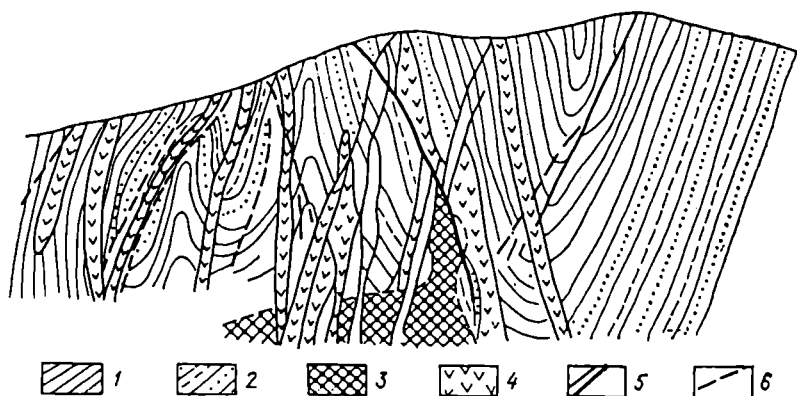


Рис. 3.20. Геологический разрез Хрустального месторождения (по Ф.И. Вольфсону и А.В. Дружинину):

1 — алевролиты; 2 — переслаивание песчаников и алевролитов; 3 — биотитизированные породы; 4 — дайки; 5—6 — рудные жилы: 5 — касситерит-сульфидные, 6 — сульфидные

ческом строении месторождения принимают участие верхнеюрские терригенные породы, слагающие центральную часть Полоусненского синклиория. Прорваны они раннемеловыми интрузиями гранитоидов, с которыми пространственно и генетически связаны все проявления и месторождения олова Депутатского рудного узла. Рыхлые кайнозойские образования представлены различными фациальными типами осадков, формирование которых происходило со среднего палеогена до настоящего времени.

Всего на месторождении насчитывается около 150 рудных тел. По морфологическим особенностям они делятся на три типа: жилы, линейно-вытянутые штокверкоподобные зоны и минерализованные зоны дробления, прослеживаемые на многие сотни метров при мощности до 10 м и более; обычны комбинации двух или всех трех типов. Большинство рудных тел представлено мощными и протяженными оруденелыми зонами скалывания, в пределах которых обычно выделяется центральная трещинная жила, наиболее выдержанная по простиранию и падению, которая сопровождается серией параллельных прожилков, зонами дробленых и минерализованных вмещающих пород, оперяющимися трещинами отрыва и скалывания, также выполненными рудным веществом.

Минерализованные зоны дробления характеризуются сложной морфологией, разнообразием минерального состава, довольно равномерным и высоким содержанием олова; простирание их от северо-западного до северо-восточного, падение на юг под углами 75—85°. Рудные тела жильного типа при таком же южном крутом падении, субширотном и северо-восточном простирании отличаются значительно меньшей мощностью (от нескольких десятков сантиметров до 1 м и реже более) и относительно небольшой протяженностью, измеряемой десятками и первыми сотнями метров, при этом наблюдаются разветвления жил и переход их из одной системы трещин в другую. Штокверкоподобные зоны, характерные для восточной части месторождения, также невелики по длине, но ширина их измеряется десятками метров. На месторождении послерудные смещения развиты незначительно, и амплитуды их обычно измеряются сантиметрами и несколькими метрами, редко превышая 10 м. Они относятся к типу сбросов и сбросо-сдвигов.

По особенностям минерального состава выделяются четыре типа рудных тел: 1) кварц-турмалиновые жилы с касситеритом; 2) касситерит-сульфидно-кварцевые жилы с турмалином и флю-

оритом; 3) касситерит-хлорит-сульфидные минерализованные зоны дробления и жилы; 4) кварц-карбонатные жилы со сфалеритом и галенитом. Практическое значение имеют в основном рудные тела второго и третьего типов. Текстуры руд брекчиевые, полосчатые, друзовые и кокардовые.

Оруденение характеризуется зональным расположением по отношению к гранитоидному массиву: касситерит-кварц-турмалиновые руды по мере удаления от интрузива сменяются касситерит-хлорит-сульфидными и затем карбонат-сульфидными.

Россыпное месторождение Соур (Депутатский рудный узел) расположено в верхней части долин ручьев Соур и Дорожный Респ. Саха (Якутия). Терригенные породы, слагающие плотик месторождения, собраны в узкие антиклинальные и широкие синклинальные складки. Представлены они алевролитами и аргиллитами с пластами песчаников. Эти образования разбиты на блоки тектоническими нарушениями взбросового характера и зонами трещиноватости.

Наличие коры выветривания, имевшей площадное развитие в районе месторождения, способствовало высвобождению полезных компонентов из коренных источников (см. Депутатское месторождение). Пласты песков аллювиальных россыпей представлены в основном галечниками, плотиком для них служат образования коры выветривания и коренные породы. Делювиальные россыпи сложены щебнем и дресвой, сцементированными илами, супесями и песком. Обломочный материал рыхлых отложений имеет мелкий и средний размер; валуны и крупные глыбы отсутствуют.

Плотик россыпей имеет волнистую поверхность вкрест простирания и довольно ровную вогнутую по простиранию. Средний уклон россыпи руч. Соур — 0,012. Мощности пластов песков выдержанные и в среднем составляют 5,45 м для балансовых запасов и 4,27 м для забалансовых, мощности торфов изменяются в более широких пределах и в среднем равны 10,3 и 9,38 м соответственно. Ширина россыпей возрастает сверху вниз и в среднем равна 200 м для балансовых и 402 м (с учетом надпластовых), для забалансовых запасов. Среднее содержание имеет прямую связь с мощностью пластов и крупностью зерен касситерита: в центральных частях россыпи оно, как правило, выше и здесь же преобладают крупные классы касситерита.

Касситерит в россыпи представлен неправильными и угловатыми зернами кристаллов призматически-дипирамидального

облика и реже двойников. Иногда отмечается слабая окатанность его ребер. Встречаются сростки касситерита с кварцем, лимонитом и слюдой. Количество его в сростках колеблется от 20 до 90 % и в среднем равно 50—60 %. Цвет касситерита темно-бурый, бурый, реже встречаются светлоокрашенные разновидности.

Содержание олова в касситерите по данным химических анализов составляет 76—77 %. Спектральными анализами в нем установлены: бор — 0,01—0,03 %, титан — 0,2—0,5 %, марганец — 0,01—0,03, галлий — 0,001—0,0007, сурьма — 0,01—0,05; отмечаются также единичные знаки золота.

Месторождение расположено в зоне многолетнемерзлых пород. Здесь широко развиты надмерзлотные воды, питание которых осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и оттайки мерзлых, насыщенных льдом пород.

Подмерзлотные воды в районе месторождения распространены в трещиноватых песчаниках и алевролитах на глубине 212 м; воды насыщены сероводородом.

Средняя влажность галечников составляет 8,5 %, илов — 21,5 %.

3.9. СВИНЕЦ И ЦИНК

Общие сведения

Применение. Свинец, благодаря химической стойкости, ковкости, мягкости, большой плотности и низкой температуре плавления используется в производстве аккумуляторов (40 % объема выплавки), оболочек, кабеля, баббитов, типографского сплава, защиты от радиоактивного излучения. Цинк, обладающий антикоррозионными свойствами, применяется для оцинкования различных изделий (40 %), получения латуни, бронзы, мельхиора, цинковых белил.

Геохимия и минералогия. Кларк свинца 0,0016 %, цинка 0,01 %. Содержание свинца и цинка в различных толщах пород, соответственно: в ультраосновных — 0,00001 и 0,003, в основных 0,0008 и 0,013, в средних — 0,0015 и 0,0072 и в кислых — 0,002 и 0,006. Таким образом, кларк цинка не менее чем в 5 раз больше кларка свинца. Наиболее высокое содержание цинка связано с породами основного ряда. Содержания его от основных пород к кислым понижаются, а содержания свинца, наоборот, увеличиваются.

Главные минералы свинца — галенит PbS (86,6 %), джемсонит $\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$ (40,2 %), буланжерит $\text{Pb}_4\text{Sb}_4\text{S}_{11}$ (55,4 %), бурнонит CuPbSbS_3 (42,6 %). Основные минералы цинка: сфалерит и вюрцит ZnS (67 %), смитсонит ZnCO_3 ; (52 %), каламин $\text{Zn}[\text{SiO}_2\text{O}_7](\text{OH})_2$ (53,7 %). Ведущая роль в рудах принадлежит галениту и сфалериту.

Типы руд и кондиции. В промышленных месторождениях выделяют следующие типы руд: свинцовые, цинковые, свинцово-цинковые и полиметаллические (с медью, кадмием, германием, индием, галлием, кобальтом, никелем, висмутом, оловом, мышьяком, селеном, сурьмой).

Главное промышленное значение имеют последние два типа руд. Минимальное промышленное содержание свинца в преимущественно свинцовых рудах 3 %, цинка в цинковых рудах 5 %. В свинцово-цинковых рудах содержание свинца должно быть не ниже 1 %, цинка 2 %. Для комплексных полиметаллических руд требования по содержанию главных компонентов еще более снижаются.

Запасы и добыча. Общие запасы свинца (без СНГ) оцениваются в 177 млн т. цинка — 319 млн т, достоверные соответственно равны 112 и 270 млн т. Большинство разведочных запасов свинца (80 %) и цинка (75 %) сосредоточены в США, Австралии, Канаде. Значительны запасы этих металлов также в Мексике, ЮАР, Иране, Испании, Перу. Годовая добыча свинца составляет 2,6 млн т, цинка — 5 млн т; она ведется в небольших масштабах в США, Австралии, Канаде, ЮАР, Перу, Мексике, Швеции. Цены на свинец и цинк на мировом рынке составляют соответственно 420—600 и 830—1000 долл. за 1 т.

Запасы свинца и цинка в странах СНГ сосредоточены в многочисленных месторождениях Казахстана, Средней Азии, Сибири, Дальнего Востока и Кавказа. По запасам (в млн.т.) месторождения делят на весьма крупные (> 2), крупные (0,6—2), средние (0,2—0,6) и мелкие ($< 0,2$).

Промышленные типы месторождений

1) Гидротермальные плутогенные месторождения: Садон, Згид, Холст, Кургашинокан, Нерченская группа (СНГ), Мадан, Руен (Болгария), Пршибрам (Чехия), Дьендешороши (Венгрия), Фрайберг (Германия), Тинтик, Ледвилл (США);

2) Скарновые: Верхнее, Дальнегорское, Николаевское (Приморье), Аксоран (Казахстан), Алтын-Топкан, Кансай, Дарбаза

Руен (Болгария), Пришибрам (Чехия), Дьендешороши (Венгрия), Фрайберг (Германия), Тинтик, Ледвилл (США);

2) Скарновые: Верхнее, Дальнегорское, Николаевское (Приморье), Аксоран (Казахстан), Алтын-Топкан, Кансай, Дарбаза (Средняя Азия), Сала (Швеция), Лоуренс (США), Эль-Потоси (Мексика);

3) Вулканогенно-осадочные: Зыряновское, Лениногорское, Риддер-Сокольное, Тишинское (Рудный Алтай), Озерное (Забайкалье), Жайрем, Текели (Казахстан), Холоднинское (Прибайкалье), Рио-Тинто (Испания), Фалун (Швеция), Сулливан (Канада), Брокен-Хил (Австралия);

4) Гидротермально-осадочные (стратиформные): Миргалмсай (Казахстан), Уч-Кулач, Сумсар (Средняя Азия), Олькун, Балеслов (Польша), Три-Стейт (США), Пайн-Пойнт (Канада).

Горно-геологические условия месторождений свинца и цинка

Лениногорское месторождение находится на Рудном Алтае у г. Лениногорска. Месторождение приурочено к вулкано-тектонической депрессии, сложенной среднедевонскими породами и разбитой разрывными нарушениями. Линзообразные рудные тела залегают в крыльях складки согласно напластованию пород, вблизи разрывных нарушений, которые служили рудоподводящими каналами (рис. 3.21). Вмещающими для рудных тел являются окварцованные и серицитизированные породы, образовавшиеся путем замещения горизонта кислых туфов. Перекрывающие этот горизонт глинистые сланцы служили экраном для рудоносных растворов, поэтому непосредственно под ними и располагаются наиболее богатые рудные тела. Гидротермальное изменение вмещающих пород представлено их окварцеванием. Затем происходили хлоритизация (проявлена очень слабо) и серицитизация пород, а позднее карбонатизация и баритизация вмещающих пород.

На месторождении при подсчете запасов выявлено 3200 рудных тел, из них 200 вовлечены в разработку; тела преимущественно сложной формы, представлены линзами и жилами. Для жил характерно крутое и весьма крутое залегание, средний угол падения составляет 78° . Изменчивость угла падения и азимута простирания переменная как в пределах месторождения, так и в пределах отдельных рудных тел и технологических блоков. Мощность рудных тел изменяется от 2 до 40 м. Усложнение

формы и внутреннего строения тел обусловлено включением породных прослоев и забалансовых руд. Характер выклинивания рудных тел сложный. Контакты рудных тел с вмещающими породами как по вертикали, так и по горизонтали — нечеткие.

На месторождении развиты тектонические нарушения типа сбросов с амплитудой смещения до 90 м.

Состав руд Лениногорского месторождения типичен для алтайских месторождений. Они состоят из галенита, сфалерита, халькопирита, блеклых руд, кварца, барита, серицита и др. Текстуры руд в основном вкрапленные, реже массивные, реликтовополосчатые; структуры тонкозернистые. При геолого-технологическом картировании на месторождении выявлены следующие промышленные типы руд: окисленные свинцово-цинковые — 4,7 %, смешанные свинцово-цинковые — 2,8 %; сульфидные свинцово-цинковые — 92,5 %. По качеству руды относятся к рядовым.

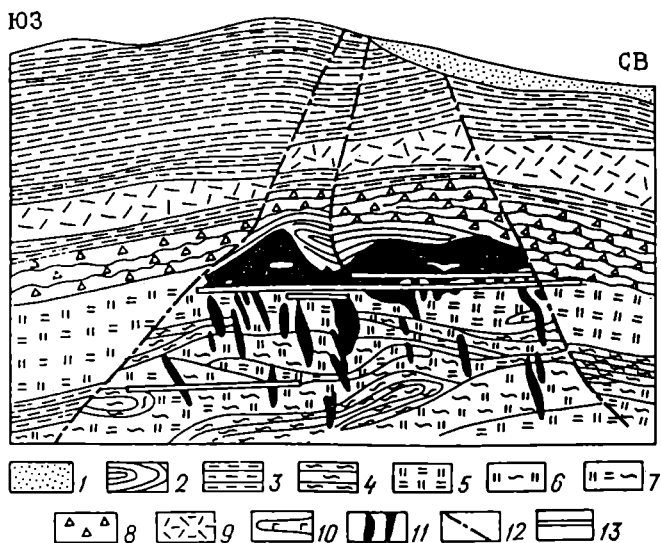


Рис. 3.21. Геологический разрез рудной залежи «Победа» Сокольского месторождения Лениногорского рудного поля:

1 — четвертичные отложения; 2 — алевролиты; 3 — известковистые алевролиты; 4 — серицитизированные глинистые алевролиты; 5 — микрокварциты (роговники); 6 — серицит-хлорит-кварцевые метасоматиты; 7 — серицитовые микрокварциты; 8 — агломеративные средне- и крупнообломочные туффы; 9 — кварцевые альбитофиры; 10 — диабазы, диабазовые порфириды; 11 — сульфидные рудные тела; 12 — разрывные нарушения; 13 — горные выработки

Основными компонентами руд являются свинец, цинк, медь, золото, серебро. Элементами-спутниками кадмий и сера. Характер распределения Pb, Zn и Cu неравномерный, а Au, Ag — крайне неравномерный. Изменчивость является существенной не только в пределах самых рудных тел, но и технологических блоков. На месторождении отмечается вертикальная зональность и зона окисления руд.

Крепость по М. Протодяконову: руд 15—17, пород висячего бока 6—8, лежачего бока 14—16. Руды и породы лежачего бока устойчивые, а породы висячего бока неустойчивые. Средняя плотность свинцово-цинковых руд 2,73 т/м³. Влажность руд 5%, а коэффициент их разрыхления 1,4—1,5.

Холоднинское месторождение расположено в 70 км от северной оконечности оз. Байкал на плоском водоразделе рек Тья и Холодная. Район месторождения приурочен к Юго-Западной части Бодайбинского геосинклинального прогиба Байкальской складчатой области.

Холоднинское месторождение локализовано в отложениях рифейской перевальской свиты, которая расчленяется на две подсвиты. Нижняя подсвита состоит из пачек графитовых кварцитов, графит-слюдисто-кварц-карбонатных сланцев и слюдистых сланцев. В верхней подсвите выделяются пачки графит-кварц-слюдисто-гранатовых сланцев и кварцитов. Интрузивные образования на месторождении представлены ортоамфиболитами и серпентинизированными ультраосновными породами. С последними генетически связано сульфидное медно-никелевое оруденение Северного Прибайкалья.

Породы месторождения метаморфизованы в амфиболитовой фации регионального метаморфизма, а также широко распространены высокотемпературные метасоматические образования — порфиروبластические породы и кварц-мусковитовые сланцы.

Главной структурой месторождения является Холоднинская синклиналь, осложненная асимметричными складками более высоких порядков, а также продольными и поперечными разломами, определяющими ее сложное блоковое строение.

Рудные тела месторождения представлены двумя морфологическими видами — стратиформными и секущими рудными телами, которые отличаются по положению в структуре и разрезе месторождения.

Три стратиформных рудных тела месторождения включают более 80 % руд, имеют пластообразную форму и залегают со-

гласно с вмещающими породами. Эти рудные тела имеют мощность от 4 м на флангах до 125 м в центральной части, прослежены по простирацию более чем на 2 км и имеют юго-западное склонение. В Центральной части месторождения рудные тела выходят на поверхность, а на западном фланге верхняя кромка рудных тел отстоит от дневной поверхности на 300 м. Рудные тела характеризуются сложным внутренним строением с типичным чередованием руд различного состава и строения с маломощными (до 4 м) безрудными и слабооруденелыми прослоями вмещающих сланцев. Пластообразные тела расположенные в крыле синклинали имеют крутое (70—80°) падение на северо-запад. Тела полностью повторяют форму мелких складок, в которые смяты вмещающие породы и на некоторых участках смещены разрывными нарушениями. Контакты висячего бока большей частью резкие, а лежачего нередко расплывчатые, что обусловлено постепенной сменой руд слабоминерализованными породами.

Секущие рудные тела маломощны, контролируются разломами северо-восточного простираия, имеют сложную, часто ветвящуюся — штокверкообразную форму, характеризуются прожилково-вкрапленными текстурами и не имеют самостоятельного промышленного значения.

Руды месторождения сложены пиритом, пирротинном, сфалеритом; присутствуют арсенопирит, блеклые руды, рутил, магнетит и ильменит; редко в виде очень мелких включений — самородное золото. Минералы слагают ряд парагенетических ассоциаций, из которых наиболее ранняя пиритовая ассоциация сопровождается сфалеритом и галенитом. Руды этой ассоциации образуют согласные с вмещающими породами залежи колчеданных руд и характеризуются полосчатой и массивной текстурой и гранобластовой, часто мозаичной структурой.

На эту минеральную ассоциацию наложен кварц-халькопирит-пирит-галенит-сфалеритовый парагенезис, представляющий главный практический интерес. Он также слагает согласные залежи и обладает массивной, полосчатой, пятнистой и брекчиевидно-полосчатой текстурами и гранобластовой, аллотриоморфозернистой, гипидиоморфнозернистой структурами. Количественные соотношения минералов этой ассоциации изменяются в широких пределах, что обуславливает выделение серноколчеданных, медноколчеданных и колчеданных свинцово-цинковых руд.

Процесс формирования рудных тел на Холоднинском месторождении завершается образованием пирит-галенит-сфалерит-халькопирит-пирротиновой минеральной ассоциации, наложенной на все предыдущие. Ассоциация слагает секущие прожилково-вкрапленные руды, главный ее минерал — пирротин. Преобладающая текстура прожилково-вкрапленная, а структура аллотриоморфнозернистая.

Отношение $Zn:Pb:Cu$ в рудах примерно 4:1:0,3.

Для пластообразных рудных тел месторождения установлена латеральная и по мощности рудных тел вещественная зональность.

Латеральная зональность рудных тел концентрического типа представлена тем, что наиболее мощные центральные части сложены «серноколчеданным ядром», т.е. серноколчеданными рудами, преимущественно массивной текстуры, которые к периферии, по мере уменьшения мощности, сменяются цинково-колчеданными и к выклиниванию тел колчеданно-свинцово-цинковыми рудами, с полосчатыми текстурами.

Зональность рудных тел по мощности выражена в закономерной смене руд соответственно: серно- и медноколчеданного минеральных типов в подошве цинково-колчеданными в средней части и колчеданно-свинцово-цинковыми непосредственно в кровле.

Руды месторождения возникли одновременно с формированием вмещающих пород, о чем свидетельствует изотопный анализ свинца месторождения. По результатам изотопного анализа возраст месторождения — 900—1000 млн лет.

Руды и вмещающие породы после образования подверглись интенсивному метаморфизму, сопровождавшемуся частичной регенерацией первичных колчедано-полиметаллических залежей и возникновением секущих прожилково-вкрапленных руд существенно пирротинового состава.

Холоднинское месторождение по запасам относится к крупным и является важным сырьевым районом страны на перспективу.

3.10. СУРЬМА И РТУТЬ

Общие сведения

Применение. Сурьма используется преимущественно (более 50 %) для получения сплавов с повышенными твердостью и стойкостью к окислению (сурьмянистый свинец для аккумуля-

торов и оболочек кабелей, типографский и подшипниковые сплавы). Соединения сурьмы применяются в лакокрасочной, стекольной, текстильной, резиновой промышленности.

Ртуть способна находиться в жидком состоянии и обладает свойствами растворять металлы, излучать в парообразном состоянии ультрафиолетовые лучи, пропускать электрический ток в одном направлении, образовывать самовзрывающиеся соединения и др. Используется в электро- и радиотехнической промышленности, энергетике (как поглотитель тепла), химической и фармацевтической промышленности, сельском хозяйстве.

Геохимия и минералогия. Кларк сурьмы 0,00005 %, ртути 0,000003 %. Коэффициент концентрации их исключительно высокий — 1 000 000. Повышенные содержания металлов характерны для базальтоидов. Сурьма образует 75 минералов, но основное промышленное значение имеет антимонит Sb_2S_3 (71,4 %). Из 20 ртутных минералов промышленным является киноварь HgS (86,2 %).

Типы руд и кондиции. Сурьму и ртуть получают из монометалльных руд, комплексно-ртутно-сурьмяных, ртутно-сурьмяно-мышьяковых и ртутно-золото-сурьмяных, а также попутно из полиметаллических, оловянных и вольфрамовых руд. Минимальное промышленное содержание сурьмы в собственных месторождениях от 1,2 до 2 %, в комплексных — 0,5 %. Минимальное содержание ртути в монометалльных средних и мелких месторождениях 1,5—2 %; в комплексных крупных — 0,1 %.

Запасы и добыча. Общие запасы сурьмы за рубежом оцениваются в 2,1 млн т. Крупными запасами сурьмы обладают Боливия (340 тыс. т), ЮАР (300 тыс. т), Мексика (200 тыс. т), Турция, Таиланд, США (по 100—110 тыс. т). Добыча сурьмы ведется преимущественно в ЮАР, Боливии, Канаде, Турции, Марокко и составляет 30 тыс. т. Первое место в мире по запасам и добыче занимает КНР.

Основные месторождения ртути расположены в Испании (90 тыс. т), Италии (12 тыс. т), Турции, Мексике, США, Канаде. Основная добыча ртути — 3,7 тыс. т. в год приходится на Испанию (40 %), Италию, Мексику, Канаду, США, Турцию, Алжир. Цены на сурьму и ртуть подвержены значительным колебаниям и составляют в настоящее время соответственно 3—5 и 8—10 долл. за 1 кг.

СНГ имеет надежную минерально-сырьевую базу сурьмы и ртути. Ведущие по запасам биметалльные месторождения распо-

ложены в Средней Азии, Казахстане, Сибири, на Дальнем Востоке, а ртутные, кроме того, на Кавказе, в Закавказье, Карпатах. По масштабам запасов (в тыс. т) месторождения разделяют на очень крупные ($> 100\text{Sb}$ и $> 25\text{Hg}$), крупные ($30\text{—}100\text{Sb}$ и $10\text{—}25\text{Hg}$), средние ($< 10\text{—}30\text{Sb}$ и $< 3\text{Hg}$), мелкие ($< 10\text{Sb}$ и $< 3\text{Hg}$).

Типы промышленных месторождений

Промышленные месторождения сурьмы и ртути относятся к трем типам: гидротермальным плутогенным, гидротермальным вулканогенным и гидротермально-осадочным (стратиформным). Основное промышленное значение за рубежом имеют собственно сурьмяные гидротермально-вулканогенные (около 85 % запасов и добычи) и стратиформные (около 14 % запасов и 10 % добычи) месторождения.

Среди месторождений ртути главную роль играют гидротермальные плутогенные (80 % запасов и 63 % добычи) и стратиформные (17 % запасов и 22 % добычи) месторождения.

Гидротермальные плутогенные месторождения сурьмяных, ртутных и комплексных руд известны в СНГ в Респ. Саха — Якутия (Саралых), Забайкалье (Ильдикан), Красноярском крае (Удереysкое, Раздольнинское), Средней Азии (Сары-Булак, Тепор), а за рубежом — в КНР (Воси), Турции (Эздемир), Тунисе (Джабель-Аджа), ЮАР (Гравеллот), Австралии (Блосиек), США (Нью-Альмаден, Нью-Идрия), Боливии (Чилкобийя), Мек-сике (Техакатес).

Гидротермальные вулканогенные месторождения сурьмы и ртути известны на Чукотке (Пламенное), Камчатке, в Приамурье, Закарпатье (Большой Шаян, Боркут), Румынии (Бая-Море, Бая-Спрые), Турции (Так-Гер), Алжире, США (Иеллоу-Пайн), Италии (Монте-Амита), Югославии (Идрия), Японии (Итомука), США (Мак-Дермит, Сульфур-Бенк).

Гидротермальные (стратиформные) месторождения. В СНГ к данному типу принадлежат месторождения Средней Азии (сурьмяные — Кадамджай, Джижикрут, Терек; ртутные — Хайдаркан, Чаувай), Кавказа (ртутное Сахалинское), Донбасса (ртутное Никитовка). Сурьмяные месторождения известны в КНР (Синьхуаньшань), Болгарии (Рыбново), Италии (Перетта), Мексике (Сан-Хозе), ртутные — в Испании (Альмаден) КНР (Ваньшань), Перу.

Горно-геологические условия месторождений сурьмы и ртути

Хайдарканское месторождение расположено в Киргизии. Хайдарканское рудное поле, в которое входит ряд сближенных рудных участков (Главного рудного поля, Плавиковой горы, Кора-Арча и др.), сложено осадочными толщами среднего и позднего палеозоя: известняками и глинистыми сланцами силура, известняками, песчаниками и сланцами нижнего девона, массивными и слоистыми известняками нижнего и среднего карбона и глинистыми сланцами среднего и верхнего карбона. Структура рудного поля весьма сложна (рис. 3.22).

Толща известняков нижнего и среднего карбона и терригенных пород среднего карбона тектонически, по чешуйчатым поверхностям надвигов, перекрыта толщей терригенных отложений и карбонатной толщей силура и девона. Толщи собраны в широтно ориентированные складки сундучного типа с пологими антиклинальными сводами и крутыми крыльями. Крупные складки осложнены мелкой складчатостью и разбиты серией широтных и диагональных разломов, имеющих характер рудоподводящих и частью рудовмещающих структур. В пределах

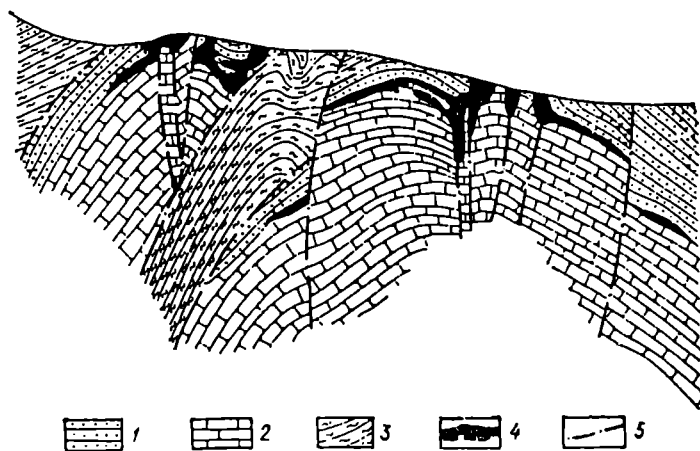


Рис. 3.22. Геологический разрез месторождения Хайдаркан
(по Н. А. Никифорову):

1 — песчаники; 2 — известняки; 3 — сланцы; 4 — руды; 5 — разрывные нарушения

рудного поля отмечаются немногочисленные дайки диабазовых порфиритов и альбититов. Оруденение приурочено к брекчиям окварцованных известняков-джеспероидов.

Джеспероидные брекчии образуют крупные пластообразные залежи в зонах отслоения и дробления в сводовых частях складок, осложненных разломами и межпластовыми подвижками, а также штокверкообразные залежи и секущие тела в трещинных зонах вдоль крутопадающих разломов.

Рудные тела имеют пласто-, линзо-, трубо- и гнездообразную форму. Угол падения рудовмещающей толщи от 30—40° до 90°. Углы падения рудных тел в пределах рудовмещающей толщи от 60° до 90°, при среднем значении 70°. Изменчивость угла падения и азимута простирания рудных тел является выдержанной в пределах рудных тел, но часто переменная в пределах технологических блоков.

Глубина залегания месторождения от поверхности в интервале от 0 до 300 м. Характер контактов рудных тел с вмещающими породами как по висячему, так и по лежащему контактам нечеткий. Мощность рудных тел изменяется от 1,5—2 м до 15 м и в среднем составляет 7—10 м. Изменчивость мощности переменная в пределах участков, геологических блоков и рудных тел.

Рудные тела имеют очень сложные, причудливые очертания, обусловленные наличием многочисленных апофиз и ответвлений, раздувами и пережимами, а также внезапным выклиниванием или резким уменьшением мощности при выклинивании. На месторождении отмечается частая перемежаемость мелких оруденелых участков с прослоями пустых или некондиционных пород внутри рудных тел.

В рудоносных зонах широко развиты дизъюнктивные нарушения, представленные взбросами и сбросами, а также надвигами и сдвигами. Амплитуда смещения до первых десятков метров. Рудные тела чаще всего контролируются разрывной тектоникой, но существенно ею не нарушены.

Главные минералы руд — киноварь, антимонит, кварц, флюорит, кальцит; второстепенные — пирит, арсенопирит, реальгар, аурипигмент, гетчелит, блеклые руды, золото, халькопирит, галенит, сфалерит, серицит, барит.

Текстурные особенности свидетельствуют о различных способах образования руд. Преобладают текстуры замещения — вкрапленные, пятнистые, гнездовые, брекчиевидные, массив-

ные, но широко проявились и текстуры заполнения пустот: гребенчатые, кокардовые, друзовые и др.

Характер распределения основных компонентов — ртути, сурьмы и флюорита крайне неравномерный, коэффициент вариации более 150. Изменчивость распределения компонентов как в пределах рудных тел, так технологических блоков резкая.

По всей рудной зоне около 30 % запасов сурьмы представлено окисленными минералами.

Руды представлены одним комплексным ртутно-сурьяно-флюоритовым промышленным типом без разделения по сортам. По качеству руды являются бедными.

Крепость руд по М. Протодяконову 12—16, пород висячего бока 6—8, лежачего бока — 12—14. Руды в основном устойчивые, породы висячего бока — неустойчивые, а породы лежачего бока — устойчивые. Средняя плотность руд 2,6 т/м³. Влажность руды изменяется от 0,1 до 0,65 %. Коэффициент разрыхления — 1,56—1,68.

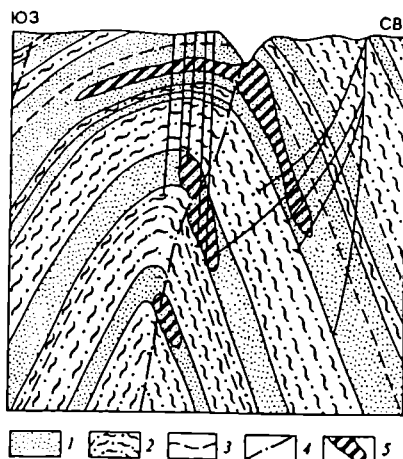
Никитовское месторождение находится в Донбассе и приурочено к ядру главной Донецкой антиклинали. Оруденение размещается в толще среднего карбона (свиты C_2^2 и C_2^3). Общая мощность свиты C_2^2 составляет 720 м, а свиты C_2^3 — 520—580 м. Они сложены глинистыми сланцами, песчаниками, известняками с прослоями каменных углей. Складчатая структура осложнена продольными и поперечными разрывными нарушениями. Продольные трещины известны под названием «ведущих». Крутопадающие диагональные разломы ориентированы в пределах рудного поля в северо-восточном и северо-западном направлениях. Существенную роль в размещении оруденения играют зоны трещиноватости пород различного характера, в т. ч. трещины межпластового сложения.

Локализация оруденения обусловлена сочетанием ряда факторов. Залежи ртутных руд локализуются в основном в шарнире Горловской антиклинали и в зонах пересечения мощных пластов песчаников разломом «Секущая» (рис. 3.23). Особенно благоприятными для рудоотложения оказались мощные пласты песчаников, подвергшихся дроблению в итоге складчатых и разрывных дислокаций, а также зоны дробления вдоль разрывных нарушений.

По форме рудных тел на Никитовском месторождении выделяют: 1) жилы богатой руды простого и сложного строения,

Рис. 3.23. Геологический разрез участка балки Сторчевой Никитовского месторождения (по С.И. Кирикилице):

1—3 — осадочные породы нижнего карбона: 1 — песчаники, 2 — алевролиты и аргиллиты, 3 — пласты угля; 4 — разрывные нарушения; 5 — рудные тела



локализующиеся вдоль поперечных диагональных разрывов; 2) линзы и линзообразные тела, контролируемые поперечными и диагональными нарушениями; 3) рудные штоки, приуроченные к раздробленным участкам и узлам пересечения тектонических нарушений; 4) пластообразные залежи в слоях песчаников; 5) гнезда, подчиненные структурным ловушкам. При подсчете запасов оконтурено 190 рудных тел, из которых 20 вовлечено в эксплуатацию.

Рудные тела имеют крутое и весьма крутое залегание, угол падения тел изменяется от 45 до 90°, при среднем значении по месторождению 70°. Мощность рудных тел варьирует от 3 до 25 м, составляя в среднем по месторождению 10 м. Характер контактов рудных тел с вмещающими породами как по висячему боку, так и по лежащему, нечеткий. Особенностью морфологии рудных тел месторождения является переход одной формы тела в другую по простиранию и по падению. Для преобладающего большинства рудных тел характерно сложное выклинивание.

Главный рудный минерал — киноварь; часто встречаются антимонит, арсенопирит, пирит, марказит. Жильные минералы представлены кварцем, каолинитом и карбонатом.

Текстуры руд вкрапленные, брекчиевые, прожилковые и массивные. Процесс минерализации был многостадийным. Выделены шесть стадий минерализации: арсенопиритовая, кварц-арсенопиритовая, антимонитовая, карбонатная, антимонит-киноварная и каолинит-антимонит-киноварная. Киноварь представлена не менее чем тремя генерациями, а антимонит — двумя. Весьма часто киноварь встречается в виде ограненных, а также сдвойникованных кристаллов. Гидротермальное измене-

ние вмещающих пород выражено окварцеванием и каолинизацией.

Руды характеризуются невысоким содержанием ртути, в связи с чем рядовые и бедные руды составляют 90 % запасов и 10 % приходится на долю убогих руд. Характер распределения ртути в рудах крайне неравномерный (коэф. вариации более 150 %). При этом отмечается резкая (75 %) изменчивость распределения в пределах технологических блоков.

В зоне окисления руд Никитовского месторождения встречаются сурьмяные охры (валентенит, кермезит), а также скородит, мелантерит и другие минералы. На поверхности кристаллы киновари покрываются тонкими корочками черного цвета, которые по оптическим свойствам не отличаются от неизменной киновари. Зональность на месторождении не наблюдается.

Гидрогеологические условия месторождения несложные. Основными водоносными горизонтами, обводняющими горные выработки, являются песчаники и известняки. Водообильность пород находится в прямой зависимости от степени их трещиноватости. В пределах месторождения имеется два типа вод. Воды первого типа резко кислые, а воды второго типа характеризуются высокой концентрацией водородных ионов и относятся к категории жестких. Жесткие воды часто приурочены к зонам разломов, часто напорные.

Крепость руд на месторождении по М. Протодяконову 10—12, а пород всячего и лежащего бока 8—10; руды устойчивые в отличие от вышележащих пород. Влажность руды изменяется от 1,9 до 3,5 %, составляя в среднем 2,57 %.

3.11. ЗОЛОТО

Общие сведения

Применение. Основная часть добываемого золота хранится в виде слитков и монет в фондах государств, составляя так называемый «золотой запас», который служит обеспечением и валютой при международных платежах и расчетах. Размер золотого запаса капиталистических стран достиг 40 тыс. т. Остальная часть добываемого золота применяется в изготовлении ювелирных изделий (50 %), в электронной технике, химической промышленности, производстве фарфоровых изделий (55 %), медицине (10 %). В последние годы золото широко использует-

ся в новой технике в качестве сварочного материала, для изготовления термопар, волосков хронометров и гальванометров, для покрытия поверхности космических аппаратов (для отражения тепла и света).

Геохимия и минералогия. Хотя кларк золота $4,3 \times 10^{-7} \%$, т.е. весьма низок, этот металл широко распространен в природе. Повышенные концентрации его характерны для гранитов, диабазов. Золото присутствует в водах Мирового океана и промышленно извлекается, несмотря на весьма низкое содержание. Коэффициент концентрации золота очень высокий — около 2000. В природе известны 15 золотосодержащих минералов. Основное промышленное значение имеют самородное золото и его теллуриды. Самородное золото всегда содержит примеси серебра, меди, железа, висмута, свинца и сурьмы. Качество золота оценивается его пробой — содержанием металла в 1000 единицах массы. Проба высококачественного золота более 900, низкокачественного — менее 700. В СНГ для изделий из золота стандартами установлены пробы 375, 500, 583, 750, 958.

Типы руд и кондиции. Золото присутствует в рассеянном виде и в виде зернообразных и неправильной формы выделений в жильном кварце или сульфидных минералах — пирите, арсенипирите, халькопирите, блеклых рудах, галените, сфалерите. Соответственно выделяют золото-кварцевые и золото-сульфидные руды коренных месторождений. В россыпях золото наблюдается в самородном виде и отличается относительно высокой пробностью. Кондиционными являются руды коренных месторождений при содержании золота не менее 3 г/т и россыпи с содержанием металла не менее 0,1 г/т (для дражной разработки). По размеру различают дисперсные (до 10 мкм), мелкие (до 0,1 мм), средние (до 1 мм), крупные (до 5 мм) и самородные (более 5 мм, или 10 г по массе) выделения золота. По данным В.И. Соболевского, за всю историю человечества было найдено не более 25—30 крупных самородков — массой более 10 кг. Масса отдельных самородков достигает 36,2 кг («Большой треугольник», СНГ) и 285 кг («Плита Холтермана», Австралия).

Запасы и добыча. Запасы золота за рубежом, разведанные по высоким категориям, составляют 31 тыс. т. Из них около 75 % приходится на ЮАР. Общие запасы золота оцениваются в 60 тыс. т. Весьма крупные коренные месторождения имеют разведанные запасы золота 100 т, россыпные 50 т, крупные соответственно 50—100 и 25—50 т, средние — 10—50 и 1—25 т,

мелкие/коренные месторождения — менее 10 т, россыпные — менее 1 т. Уникальным по запасам является месторождение Витватерсранд в ЮАР (32,5 тыс. т).

Добыча золота сосредоточена примерно в 50 странах и ежегодно растет, достигнув 1140 т в 1985 г. При этом на долю ЮАР приходится около 60 % добычи, Канады — 7,5 %, США — 6,9 %, Бразилии — 5,5 % Австралии — 5 %. Из других золотодобывающих стран можно назвать Филиппины, Зимбабве, Гану, Колумбию, Мексику (10—20 т в год). В СНГ золото добывается в Респ. Саха (Якутия), Забайкалье, Средней Азии, на Урале. Цена золота на мировом рынке за пятилетие (1981—1985 гг.) снизилась с 14,8 до 10,5 долл./г.

Типы промышленных месторождений

Золото встречается во всех типах магматогенных (кроме пегматитов), а также в метаморфизованных и экзогенных месторождениях. Наибольшее промышленное значение имеют гидротермальные (20 % запасов и 23 % добычи), россыпные (7,5 и 6,5 %) и метаморфизованные (58 и 59 %) месторождения.

Гидротермальные плутогенные золото-кварцевые месторождения связаны с гранитоидными батолитами и гранодиоритовыми гипабиссальными интрузиями. Рудные тела представлены кварцевыми жилами с видимым золотом и сульфидами, а также пиритизированными и окварцованными зонами во вмещающих породах. С арсенопиритом, пиритом и другими сульфидами связаны тонкодисперсные трудноизвлекаемые вкрапления золота. Месторождения этого типа широко распространены. В СНГ к ним относятся месторождения Кочкарское (Урал), Мурунтау (Средняя Азия), Коммунар, рудник «Советский» (Западная Сибирь), а за рубежом — Болиден (Швеция), Колар (Индия), Бендиго (Австралия), Колана (Мали), Намойа (Конго), Баомукан (Сьерра-Леоне), Поркьюпайн (Канада), Морру-Велью, Пассагейм (Бразилия).

На гидротермальных плутогенных золото-кварц-сульфидных месторождениях распространены жилы, залегающие в массивах палеозойских гранитоидов и осадочных породах кровли. В составе руд отмечаются кварц, карбонаты, барит, пирит, халькопирит, сфалерит и сульфиды. К месторождениям этого типа в СНГ относятся Березовское (Урал), Степняк (Казахстан), Берикульское и Саралинское (Западная Сибирь), Дара-

сунское (Забайкалье), а за рубежом — Калгурли (Австралия), Материнская Жила и Грэсс-Велли (США), а также ряд месторождений Канады, Ганы, Кении.

Гидротермальные вулканогенные золото-серебряные месторождения приурочены к вулканогенным породам областей молодого вулканизма. В рудных телах — жилах и штокверках — оруденение распределено неравномерно. Руды сложены халцедоноподобным кварцем, кальцитом, родохрозитом, баритом, сульфидами, содержат минералы серебра, серебристое золото, теллуриды золота. К данному типу в СНГ относятся месторождения Балей, Тассеевское, Белая Гора (Забайкалье), Зодское (Кавказ), а за рубежом — Нашаг (Румыния), Крипл-Крик, Комсток (США), Эль-Оро (Мексика), а также месторождения Чили, Перу, Новой Зеландии, Индонезии, Японии.

Метаморфизованные месторождения представлены золотоносными рудными конгломератами. Уникальным примером является группа месторождений Витватерсранд в ЮАР. Подобного типа месторождения имеются также в Австралии, Канаде (Блайнд-Ривер), Бразилии.

Золотоносные россыпи играют существенную роль в добыче золота. Основное значение имеют аллювиальные россыпи, меньшее — морские. Крупнейшими в мире являются россыпи Витватерсранда (ЮАР), Калгурли (Австралия), Ном (США), образованные при выветривании докембрийских пород. В СНГ россыпи промышленного значения находятся в бассейнах рек Лены, Колымы, Алдана, Бодайбо, Енисея.

Горно-геологические условия месторождений золота

Месторождение Мурунтау расположено в центральных Кызылкумах в пределах хребта Тамдитау. В структурном отношении район месторождения приурочен к красной части герцинского геосинклинального пояса Южного Тянь-Шаня, к так называемому Ауминза-Бельтаускому антиклинорию, сложенному метаморфизованными первично терригенными и вулканогенно-осадочными образованиями. Возраст отложений докембрийский, а по некоторым данным — раннепалеозойский.

Перекрывающая толща представлена пестроцветными и известковистыми глинами (вплоть до мергелей) палеогенового возраста максимальной мощностью до 20 м при наиболее часто встречаемой мощности первые метры — 10—12 м. Четвертич-

ные отложения повсеместно развиты на площади месторождения представлены супесями, суглинками, песками и глыбово-щебнистыми деловиальными отложениями, мощность которых составляет первые метры (рис. 3.24).

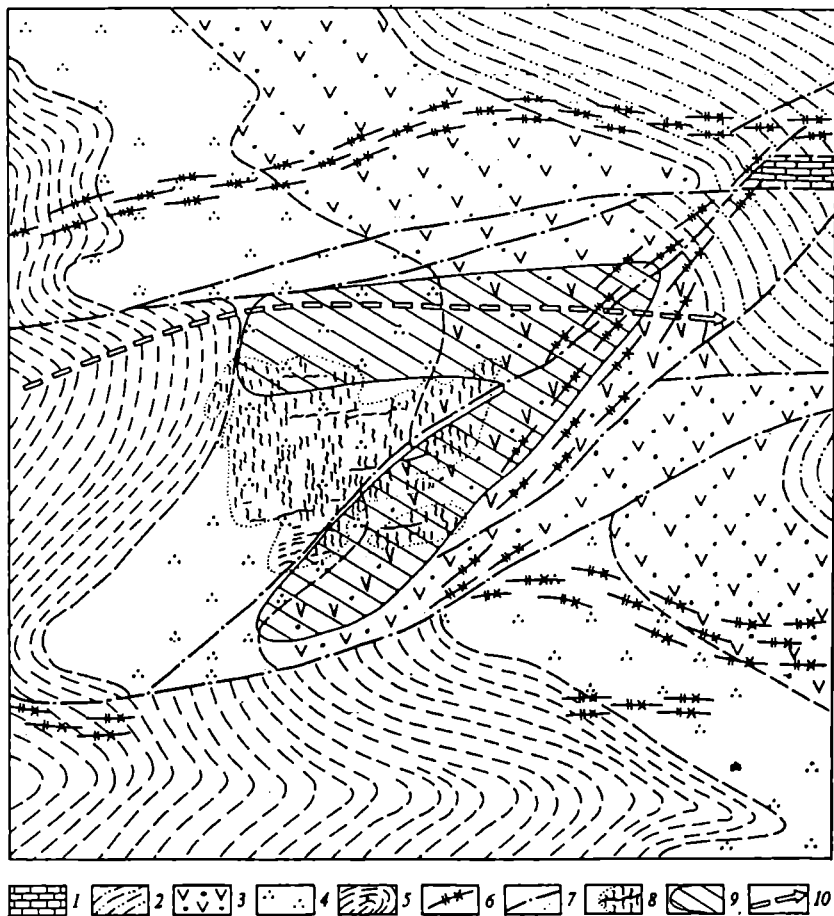


Рис. 3.24. Схематическая геологическая карта Мурунтауского рудного поля (по А. Т. Бендику и др.):

1 — известняки девона; 2—5 — силурийская осадочная толща: 2 — преимущественно песчаники, 3 — сланцы с прослоями песчаников, 4 — переслаивание алевролитов и филлитовидных сланцев, 5 — преимущественно сланцы; 6 — дайки кислых и щелочных пород; 7 — разрывные нарушения; 8 — рудный штокверк; 9 — участок кварц-турмалиновых брекчий; 10 — ось Мурунтауской антиклинали и направление погружения шарнира

Месторождение Мурунтау локализовано в верхней части разреза, в первично терригенной бессаманской свите, являющейся флишоидной толщей. Для нее характерно ритмичное чередование пачек, сложенных тонкими пластами алевролитов, песчаников и филлитовидных (углисто-кремнистых) и хлорит-серицитовых сланцев. Основной особенностью рудовмещающей толщи является тонкое переслаивание пород, контрастных по вещественному составу и физико-механическим свойствам, что оказало влияние на особенности морфологии и закономерности пространственного размещения золотого оруденения.

Магматические породы развиты в основном на периферии рудного поля и представлены дайками плагиогранит-порфиров и сиенит-порфиров, которые сосредоточены в пределах нескольких разноориентированных (субширотных и северо-восточных) зон, имеющих протяженность от 1 до 7 км. Падение даек в основном субвертикальное. Кроме того, на восточном фланге рудного поля установлено два штока гранодиоритов размером 120×300 м.

Структура Мурунтауского рудного поля определяется сочетанием складчатых дислокаций и разрывных нарушений. Главной региональной складчатой структурой района является Таскауганская антиклиналь. Рудное поле приурочено к северному крылу этой структуры, которое, в свою очередь, осложнено двумя сопряженными складками — Мурунтауской антиклиналью и Южной синклиалью. Упомянутые структуры осложнены флексурообразными перегибами слоев и крутой приразломной складчатостью, вблизи крутых разрывных нарушений.

Главными разрывными нарушениями рудного поля являются Южный и Структурный разломы.

Южный разлом является взбросо-сдвигом и ограничивает рудное поле с юга. Простирается его субширотное, падение вертикальное или крутое южное. Он трассируется по зоне дробления и перетирания пород, ширина которой в пределах рудного поля варьирует от 5 до 7 м. Кроме того он сопровождается системой оперяющих тектонических трещин.

Структурный разлом является сбросо-сдвигом и представлен серией сближенных трещин и зон дробления, выполненных глиной трения и тектоническими брекчиями на карбонатном цементе. Разлом пересекает центральную часть месторождения и имеет мощность от 2 до 10 м. Простирается его восточное-

северо-восточное. Падение в западной части северное, а в центральной и восточных частях — южное.

В пределах рудовмещающей толщи широко развиты тектонические трещины, среди которых выделяются трещины отслоения, отрыва и скола.

Трещины отслоения развиваются в пачках, сложенных тонко чередующимися пластами песчаников, алевролитов и сланцев и являются результатом послойных срывов, и наследуются прожилками кварца.

Трещины отрыва особенно широко развиты в центре рудного поля. Они располагаются кулисообразно и группируются в зоны северо-восточного (50—55) простирания, падающие к юго-востоку под углами 10—80°. Эти трещины выполняются разнотекстурным кварцем или брекчиями на кварц-турмалиновом цементе.

Трещины скалывания имеют субширотное и субмеридиональное направление и крутое падение на юг, юго-восток и северо-восток. Трещины субширотной ориентировки наиболее выдержаны по простиранию. Наиболее крупные из них выполнены тектонической глиной и брекчиями, сцементированными карбонатами или крупнотекстурным кварцем. В мелких субширотных трещинах локализованы пирит-арсенопиритовые и кварц-пирит-арсенопиритовые жилы и прожилки. Субмеридиональные сколовые трещины контролируют размещение жил и прожилков шестоватого кварца и кальцита.

По морфологическим признакам месторождение в целом представляет вытянутый в субширотном направлении штокверк. Распределение оруденения внутри него резко неравномерное. Чередование участков бедного и богатого оруденения с участками безрудных пород наблюдается по результатам опробования. В пределах штокверка выявлен ряд залежей сложной формы, в которых сочетаются прожилково-штокверковый и кварцево-жильный типы оруденения. Все рудные тела располагаются вблизи разломов северо-восточного простирания, локализуясь в широтных зонах субпараллельных трещин отрыва и скалывания. Основная масса золота заключена в пяти рудных залежах.

Форма и строение рудных тел весьма сложны. Как правило, они представляют собой сочетание секущих крутопадающих и субсогласных пологопадающих кварцевожильных и прожилковых зон.

Секущие части рудных зон наиболее богаты золотом и представляют собой серии субпараллельных кулисообразных кварцевых жил и поясов маломощных кварцевых, кварц-сульфидных, кварц-турмалиновых и карбонатных прожилков. По падению кварцевые жилы прослеживаются на глубины первые сотни метров.

Кварцевые жилы и прожилки секущих зон локализируются в трещинах отрыва, падающих под углами $60\text{--}70^\circ$ к югу. Мощность наиболее крупных жил в раздувах достигает $15\text{--}20$ м. При залегании в филлитах они имеют четкие контакты, а в песчаниках и алевролитах оторочены сопряженными прожилковыми зонами. Иногда в результате повторных тектонических движений контакты секущих жил сорваны, кварц раздроблен и рассечен тонкими прожилками карбонатного, сульфидного, кварц-турмалинового состава. В таких участках часто наблюдаются наиболее высокие содержания золота.

Согласные жильные зоны, примыкающие к «крутым стволам» характеризуются более низкими содержаниями золота и в целом контролируются трещинами субширотного простиранья. Характерным элементом их внутреннего строения является наличие субпослойных, реже кососекущих кварцевых прожилков, распространение которых обусловлено наличием зон послонных срывов и расслаивания. В участках интенсивного расслаивания нередко возникают довольно мощные пластообразные и линзовидные тела убогих и бедных золотых руд.

В целом на месторождении наиболее промышленно интересные золоторудные участки устанавливаются в зонах сочленения секущих и субпослойных жильных зон.

Месторождение Мурунтау является типичным объектом гидротермальной плутогенной золотой кварц-малосульфидной формации. Среднее содержание сульфидов в нем, как правило, не превышает $0,5\text{--}1,5\%$. Основной сульфид — пирит. Встречаются также халькопирит, арсенопирит. Менее распространены сфалерит, галенит, висмутин, сульфосоли серебра, самородный висмут. Спорадически встречаются также калиевый полевой шпат, биотит, кальцит, турмалин, альбит.

Золото отмечено в крупно- и среднезернистых кварц-сульфидных жилах и прожилках. В кварце оно образует видимые (до $1\text{--}5$ мм) включения и примазки по трещинам на границах кварцевых зерен, тяготея все же к зернам и гнездам сульфидов, с которыми и связана основная масса золота.

В сульфидях, особенно на границе зерен пирита и арсенопирита или в катаклазированных их участках, устанавливаются тонкие вкрапленники и короткие прожилки золота размером от 0,001 до 0,99 мм. Форма золотинок определяется морфологией микротрещин и формой межзерновых пространств. В целом золото на месторождении мелкое, тонкое, и, отчасти, дисперсное. В качестве примесей в нем установлены серебро, медь, висмут, свинец, мышьяк, железо. Пробность золота 890—910.

Процесс рудообразования на месторождении происходил длительное время и включал несколько этапов и стадий минералообразования. Однако до сих пор нет полного единства взглядов по вопросам временного положения золотой минерализации в процессе минералообразования, однократности или многократности выделения и перераспределения золота в гидротермальном процессе.

Месторождение Мурунтау располагается в одном из наиболее жарких и засушливых районов Средней Азии. Среднегодовая температура воздуха равна +13,2 °С. Абсолютный максимум температуры воздуха +48 °С, абсолютный минимум –35 °С. Среднегодовое количество осадков варьирует от 100 до 120 мм.

Покровные отложения в пределах месторождения практически безводны. В толще же интенсивно дислоцированных палеозойских пород развит водоносный малопродуктивный трещино-жильный комплекс с дебитом не более 0,01 л/с. Подземные воды имеют преимущественно хлоридно-натриевый состав, реже сульфатно-хлоридно-натриево-кальциевый с магнием и общую минерализацию до 3—5 г/л. Ощутимая обводненность наблюдается в карьере весной и осенью во время таяния снега и проливных дождей. Однако, воды из карьера свободно дренируются в разведочные горные выработки, общий водоприток в которых не превышает первые кубометры в сутки. Часть воды имеет техногенное происхождение и связана с утечками из водопроводных коммуникаций. Спорадически отмечено появление воды во взрывных скважинах с высотой столба до 10—12 м.

По физико-механическим свойствам до 25 % пород рудовмещающей толщи относятся к мелкоблоковым легковзрываемым (разнообразные сланцы со средней плотностью 2,65 т/м³) со средним размером отдельности в массиве менее 0,2 и коэффициентом крепости по М. Протодяконову от 7 для слюди-

стых, слюдисто-хлоритовых сланцев и до 10 для углеродисто-кремнистых сланцев.

До 30 % пород относится к среднеблоковым средневзрываваемым (алевролиты с наиболее часто встречающейся плотностью 2,6 т/м³) со средним размером отдельности в массиве не более 0,4 м и коэффициентом крепости по М. Протождяконову от 10 до 12.

До 45 % пород карьера (песчаники, алевропесчаники — с плотностью 2,5—2,55 т/м³) относятся к крупноблоковым, трудновзрываваемым со средним размером отдельности более 0,5 м и крепостью по М. Протождяконову более 12.

Ленский золотоносный район располагается на северо-востоке Иркутской области, занимает площадь около 80 000 км² и известен с середины прошлого века. В структурном отношении он приурочен к центральной части внешнего пояса Байкальской горной области. Наибольшее промышленное значение имеют золотоносные россыпи бассейна р. Бодайбо, являющейся правым притоком р. Витим.

Бассейн р. Бодайбо расположен в центральной части Патомского нагорья, в пределах крупного широтного синклинория, сложенного осадками верхнего протерозоя, представленными переслаивающимися песчаниками, сланцами и известняками. В южной части массива нижнепротерозойские осадки прорваны гранитоидными интрузиями. В синклинории выделяется ряд впадин второго порядка. Одна из них называется Бодайбинским прогибом, располагается на юге структуры. В ее пределах и расположен бассейн р. Бодайбо.

В центральной части Бодайбинского прогиба выделяются широкие синклинальные складки, разделенные узкими антиклиналями. К осевым частям антиклиналей приурочены зоны концентрации кварцевых малосульфидных золотоносных жил. Эти зоны имеют мощность от 0,5 до 3 км и служат коренным источником золотоносных россыпей.

По рельефу бассейн р. Бодайбо представляет собой глубоко расчлененное низкоегорье. Высоты межречных пространств 856—950 м. Глубины долин 200—500 м, ширина их верхних контуров до 3,5—4 км. Ширина поймы обычно 100—250 м, изредка до 400 м. Долины рек и ручьев заполнены толщей рыхлых отложений мощностью от 20—25 до 140—170 м.

В погребенном рельефе долин различаются днища (получившие название глубоких тальвегов) и террасы (рис. 3.25). В до-

лине р. Бодайбо насчитывается восемь террасовых уровней, из которых три низких выклиниваются в среднем и нижнем течении. Наибольшее площадное распространение имеют VII и IV террасы.

Падение глубокого тальвега р. Бодайбо изменяется от 2 м/км в нижнем течении до 18 м/км в верховьях. Падение глубоких тальвегов притоков 15—30 м/км и более. Ширина глубокого тальвега р. Бодайбо почти на всем протяжении долины около 200 м. Ширина глубоких тальвегов различна по микрорельефу. На их протяжении плоские, ровные участки днищ чередуются с грядами и котлованами.

В строении рыхлых отложений, заполняющих долины, участвуют аллювиальные отложения, перекрывающие погребенный аллювий и аллювиальные отложения древних надпойменных террас и пойм, образованных при врезании рек в нижнепротерозойскую толщу.

Аллювиальные отложения IV—VIII террас и глубокого тальвега Бодайбо представлены желто-бурыми, реже серовато-бурыми глинистыми галечниками. Для них характерно преобладание псевдоморфоз лимонита по пириту в тяжелой фракции шлихов. Аллювий этих террас перекрыт валунными суглинками, являющимися моренными отложениями. Формирование аллювиальных отложений IV—VIII террас началось в раннечетвертичное и закончилось в первой половине среднечетвертичного времени.

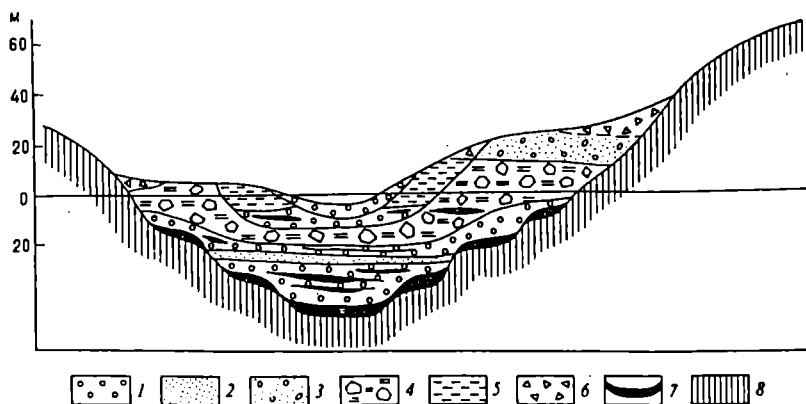


Рис. 3.25. Разрез погребенной аллювиальной россыпи в Ленском районе (по Ю.П. Казакевич):

1 — галечники; 2 — пески; 3 — пески с обильной галькой; 4 — морена; 5 — илы; 6 — щебенистые отложения; 7 — рудный пласт; 8 — коренные породы

Отложения более низких террас (I—III) и глубокого тальвега р. Бодайбо представлены серыми и желто-серыми песчанистыми образованиями, а также глинистыми галечниками. Характерной чертой этого аллювия является преобладание магнетита, граната и неокисленного пирита в тяжелой фракции шлихов. Накопление аллювия низких террас произошло во второй половине среднечетвертичного времени.

Мощные толщи илов и песков, перекрывающие аллювий низких погребенных террас имеют флювио-гляциальное, озерное и речное происхождение и по возрасту являются позднечетвертичными и современными.

Таким образом, возраст погребенных россыпей раннечетвертичный (IV—VIII террасы) и среднечетвертичный (III—I террасы). Кроме того, встречены современные россыпи.

В бассейне р. Бодайбо наибольшую промышленную ценность имеют погребенные аллювиальные россыпи. Такие россыпи имеются как в долине р. Бодайбо, так и в долинах ее притоков. Они находятся как на террасах так и в глубоких тальвегах. В долине р. Бодайбо россыпи глубоких тальвегов значительно богаче россыпей террас. В долинах же притоков, напротив, террасовые россыпи значительно богаче и имеют большие залежи, чем россыпи глубоких тальвегов.

Ширина россыпей глубоких тальвегов определяется шириной этих тальвегов. Бортами россыпей, как правило, служат склоны тальвегов. Глубина залегания россыпей глубоких тальвегов в среднем составляет 20—30 м, местами увеличиваясь до 40—90 м, изредка достигая 150 м. Мощности золотоносных пластов погребенных аллювиальных россыпей варьируют от 0,2—0,4 м до 5—5 м.

В зависимости от литологических особенностей аллювия различаются два типа золотоносных пластов.

Галечные или валунно-галечные пласты Концентрации золота в галечниках или валунниках наблюдаются в тех случаях, когда в заполнителе присутствует глина. Мощность золотоносного пласта, часто совпадает с мощностью слоя галечника с гравийно-глинистым заполнителем. Как правило, в пластах количество глины увеличивается по направлению к почве, в связи с чем максимальные концентрации золота отмечаются непосредственно над плотиком. Золотоносные галечные пласты известны во всех погребенных россыпях бассейна р. Бодайбо.

Щебенистые пласты содержат концентрации золота, приуроченные к слоям горизонтально залегающего щебня с гравийно-глинистым заполнителем, являющимся донной фацией аллювия. Мощность золотоносных щебенистых слоев варьирует от 0,5 до 2 м. Наибольшие концентрации золота отмечаются в нижних частях щебенистых слоев. Щебенистые пласты являются наиболее распространенными в россыпях бассейна р. Бодайбо и особенно характерны для участков россыпей с ровным плотиком.

Проникновение золота в трещины плотика сопровождается как галечные, так и щебенистые пласты. Самостоятельное значение этот тип концентраций золота приобретает в тех участках долин, где над плотиком залегают галечники с песчаным заполнителем, гравий или пески с илом. Если плотик сложен песчаниками, для которых характерны широкие трещины, то золото проникает в них на глубины до 1,5 м, образуя крупные «карманы».

В алевритовых же и сланцах, имеющих более многочисленные, но узкие трещины, глубина проникновения золота достигает 30—50 см.

Нередко отмечаются скопления золота непосредственно над плотиком в основании маломощных пластов галечников с песчаным заполнителем или в основании прослоев песка. Для них характерно золото крупных фракций.

Золото россыпей бассейна р. Бодайбо преимущественно крупное с преобладанием золотинок размером 2—4 мм. Часто встречаются золотины размером более 8 мм, составляя до 25 % от общей массы золота в россыпи. Характерно наличие самородков, наиболее крупные из которых найдены в верховьях р. Бодайбо.

По размерам, морфологии и пробе установлено две разновидности золотинок, отвечающих двум генерациям его в коренных жилах.

Первая разновидность характеризуется преимущественно крупными и средними размерами, простыми формами, высокой (810—930) пробностью. Для второй разновидности характерна более сложная форма, мелкие и средние размеры и более низкая (730—820) пробность. Золото первой разновидности распространено во всех россыпях бассейна, а золото второй разновидности в его западной части.

Меньшее промышленное значение имеют современные аллювиальные россыпи, расположенные в пойме и на низких тер-

расах р. Бодайбо. Золото в них приурочено к низам галечников и к трещинам коренных пород. Мощность золотоносных пластов 0,5—1,5 м. Золото современных россыпей мелкое, чешуйчатое, хорошо скатанное. Однако встречаются золотины в сростках с жильным кварцем. По-видимому, часть его поступила при современном разрушении золотоносных жил, частью перенесено из вышележащих отрезков долины, а часть поступила за счет перемива слабозолотоносных разновозрастных отложений. Роль погребенных россыпей в питании современных невелика.

В гидрогеологическом отношении район мало изучен. Учитывая, что долины рек и ручьев бассейна р. Бодайбо заполнены мощной толщей рыхлых осадков чрезвычайно изменчивого литологического состава, гидрогеологический разрез также весьма сложен. Чередование водоносных песков, песчанистых илов, переходящих в пльвуны с водоупорными слоями и линзами моренных глин и плотных илов, приводит к тому, что в разрезе встречаются отдельные напорные горизонты или линзы, а также грунтовые воды со свободной поверхностью. Коренные породы, подстилающие рыхлые осадки, настолько трещиноваты, что их можно считать водопроницаемыми.

Выходы грунтовых вод на поверхность обыкновенно связаны с выходами глинистых горизонтов. Питание грунтовых вод происходит за счет инфильтрации талых вод и атмосферных осадков.

Картина сильно осложняется наличием многолетней мерзлоты, имеющей преимущественно островной характер. Мощность многолетнемерзлых пород варьирует от 2—3 до 20—30 м. В отдельных случаях, как правило на склонах долин, отмечаются участки сплошного развития мерзлоты, которая препятствует инфильтрации атмосферных осадков на глубину и способствует созданию горизонта надмерзлотных вод в пределах деятельного слоя, имеющего среднюю мощность 2—3 м.

В летнее время это приводит к заболачиванию значительных площадей, на которых зимой возникают наледи и бугры пучения. Дебит надмерзлотных горизонтов достигает 0,57 л/с (удельный дебит 0,475 л/с при понижении 1,2 м) при коэффициенте фильтрации 1,4 м/сут.

Атмосферные осадки, выпадающие на поверхность водоразделов и на участки склонов, лишенные многолетней мерзлоты, попадают в рыхлые отложения, циркулируют по ним, образуя грунтовые межмерзлотные и подмерзлотные воды.

Дебит межмерзлотных вод в среднем составляет 0,9 л/с (удельный дебит 0,405 л/с при понижении 2,22 м и среднем коэффициенте фильтрации 1,37 м/сут.

Дебит подмерзлотных вод составляет 1,06 л/с (удельный дебит 0,31 при понижении 3,42 м и коэффициенте фильтрации 1,64 м/сут.)

В результате комплексного воздействия всех трех типов вод среднесуточный водоприток в подземные горные выработки на глубине 50 м от дневной поверхности может достигать 1500—2000 м/сут.

Воды всех горизонтов гидрокарбонатные, редко хлоридно-гидрокарбонатные, преимущественно натриево-кальциевые. Они имеют либо нейтральную, либо слабокислую (рН не ниже 6,3) реакцию. Воды ультрапресные с минерализацией не выше 100 мг/л.

3.12. УРАН

Общие сведения

Применение. Уран является основным сырьем для производства атомной энергии, используется также в аналитической химии, фотографии, стекольной промышленности.

Геохимия и минералогия. Среднее содержание урана в земной коре $2,5-10^{-4}$ %. Установлено возрастание содержания урана от ультраосновных пород к основным и кислым. Коэффициент концентрации урана при среднем его содержании в добываемой руде 0,1 % составляет 400. Известно около 100 минералов, содержащих уран. Основное промышленное значение имеют уранинит (настуран, урановая смолка) UO_2 (92 %) и аморфная разновидность — урановая чернь (до 60 %). Все минералы урана являются радиоактивными, что используется при поисково-разведочных работах, добыче и переработке руд. Минералы урана легко растворяются в разбавленных кислотах и щелочах. На этом свойстве основана добыча руд путем подземного выщелачивания и гидрометаллургическая переработка.

Типы руд и кондиции. Основное промышленное значение имеют оксидные руды, меньшее — руды, состоящие из ванадатов (карнотит, тюямунит), фосфатов (торбернит, отенит) и арсенатов (цейнерит) урана. Минимальное содержание U_3O_8 в ря-

довых месторождениях 0,1 %, а в месторождениях с крупными запасами — 0,05 % и меньше.

Запасы и добыча. Запасы урана подсчитываются для разного уровня себестоимости получения готовой продукции. При себестоимости 80 долл/кг (0,1—0,2 % U_3O_8), разведанные запасы урановых руд в капиталистических и развивающихся странах достигают 1,9 млн т, а при себестоимости 130 долл/кг (0,08—0,1 % U_3O_8) — 2,5 млн т. Общие запасы превышают 5 млн т. Основные ресурсы сосредоточены в месторождениях США, Австралии, Канады, ЮАР, Намибии, Нигера, Франции, Испании, Португалии. К крупным относятся месторождения с запасами U_3O_8 свыше 10 тыс. т, к средним — от 1 до 10 тыс. т, к мелким — менее 1 тыс. т. В капиталистических и развивающихся странах производится около 42 тыс. т U_3O_8 при потребности 85—100 тыс. т. Около 200 тыс. т U_3O_8 накоплено на складах стран-производителей, основными из которых являются США, Канада, ЮАР. Цена 1 кг U_3O_8 в сырье — 40 долл.

Типы промышленных месторождений

Уран встречается во многих генетических типах месторождений. Главную роль играют гидротермальные плутоногенные, гидротермальные вулканогенные, альбититовые, метаморфизованные, инфильтрационные выветривания и осадочные месторождения.

Гидротермальные плутоногенные уранинит-сульфидные месторождения представлены жилами значительной протяженности и мощностью 1,5—2 м, залегающими в эффузивно-осадочных породах и связанными с интрузиями гранитоидного состава. Примерами месторождений этого типа являются Мэрисвейл (США) и Лимузен (Франция).

Уранинит-арсенидные месторождения, принадлежащие к этому же классу (гидротермальные плутоногенные) отличаются сложным составом руд, наличием арсенидов никеля и кобальта, минералов серебра. Рудные тела — жилы и жильные зоны — развиты на значительной площади и на большую глубину среди эффузивных, осадочных и интрузивных пород. К данному типу принадлежат месторождения Рудных гор в Словакии и Германии и Порт Радий в Канаде.

Гидротермальные вулканогенные месторождения связаны с комплексами вулканических пород. Рудные тела имеют форму

жил, гнезд, линз, линейных штокверков, иногда послойных залежей, размещение которых контролируется зонами разрывных нарушений. По составу руд выделяются уран-титановые, уранинит-галенитовые, уранинит-молибденитовые, уранинит-флюоритовые месторождения. Крупные месторождения данного класса известны в Австралии и Канаде.

Альбитовые месторождения локализованы преимущественно среди метаморфических пород докембрия, вмещающих гранитные массивы. Рудные тела – уплощенные линзовидные и трубообразные залежи – сложены альбитом, кварцем, цирконом, апатитом, карбонатами; встречаются ильменит, магнетит, сульфиды. Урановые минералы представлены уранинитом, титанатами и гидроксидами урана. К этому типу относятся месторождения Бразилии (Лагоа-Реал), Индии (Джадугуда), Канады (Раббит-Лейк), Намибии (Россинг).

Метаморфизованные урановые месторождения приурочены к комплексам метаморфических пород докембрия. Руды прожилково-вкрапленные, нередко залегают согласно первичной стратификации пород и контролируются разломами и зонами трещиноватости. К метаморфизованным принадлежат месторождения Мэри Кэтлин, Аллигейтор-Риверс (Австралия), Витватерсранд (ЮАР), Эллиот-Лейк, Блайнд-Ривер (Канада), Жакобина (Бразилия).

Инфильтрационные урановые месторождения размещены обычно в песчаниках, заключенных между водоупорными глинистыми породами. Для рудных тел характерны неправильная форма, значительные размеры по вертикали и площади. В состав руд входят урановая чернь, сульфиды железа, меди, никеля кобальта, минералы ванадия и селена. Инфильтрационные месторождения имеют важное промышленное значение и широко распространены. Они известны в Канаде (Раббит-Лейк), США (плато Колорадо), Австралии (Рейнджер), а также в Германии, Франции, Великобритании, Италии, Австрии, Венгрии, Румынии, Турции, Пакистане, Индии, Японии.

Осадочные урановые месторождения разделяются на морские, залегающие в карбонатных породах, углисто-кремнистых сланцах, фосфоритах, и континентальные, локализующиеся в торфяниках, магнетитах, бурых углях, конгломератах и песчаниках. Этим месторождениям присущи крупные запасы сравнительно бедных руд. Осадочные урановые месторождения находятся в Канаде (Ките, Гэз-Хилс), США (Амброзия-Лейк), Ис-

паний (Фе), Алжире, Тунисе, Марокко, Конго, Замбии, Аргентине, Австралии (Олимпик-Дам).

3.13. БЕРИЛЛИЙ

Общие сведения

Применение. Благодаря низкой плотности, значительной твердости, высокой упругости и теплоемкости, самого низкого сечения захвата тепловых нейтронов бериллий используется в атомной технике (в качестве источника нейтронов, их замедлителя и отражателя в реакторах), в самолето- и ракетостроении (как легкий и прочный материал), в производстве неискрящихся сплавов (в промышленности взрывчатых веществ) для покрытий различных изделий (бериллизация), в гироскопических устройствах систем наведения и ориентации в самолетах и ракетах, для производства высокоэнергетических ракетных топлив. Некоторые бериллиевые минералы являются драгоценными камнями 1 класса.

Геохимия и минералогия. Кларк бериллия $3,8 \cdot 10^{-4} \%$. Повышенные содержания его характерны для кислых, средних и щелочных пород. Коэффициент концентрации 400. Известно более 50 минералов бериллия — силикаты (50 %), фосфаты (25 %), оксиды и бораты. Промышленное значение имеют берилл $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ (10—12 % BeO), фенакит $\text{Be}_2[\text{SiO}_4]$ (40—44 %), берtrandит $\text{Be}_4[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{OH})_2$ (40—42 %), хризоберилл $\text{Al}_2[\text{BeO}_4]$ (18—20 %). К драгоценным камням относятся разновидности берилла — изумруд (зеленый), аквамарин (цвета морской воды), гелиодор (ярко-желтый), воробьевит (розовый), а также хризоберилла — александрит (изменяет окраску от зеленой при дневном свете до фиолетовой при искусственном освещении).

Типы руд и кондиции. Основную роль играют берилловые (75 % запасов) и фенакит-берtrandитовые руды. Кондиционное содержание BeO в коренных рудах — 0,02 %, в комплексных и коре выветривания — 0,01 %.

Запасы и добыча. Запасы капиталистических и развивающихся стран составляют около 1 млн т BeO. Более половины их приходится на бедные руды (0,04—0,06 % BeO). Уникальное месторождение Томас-Рейндж (США) имеет запасы BeO 200 тыс. т. Крупные месторождения обладают запасами 100—40 тыс. т. Богатые руды содержат 0,5 % BeO, бедные = 0,04—0,1 %. Ми-

ровая (без СНГ) добыча бериллиевых концентратов (10 % BeO) достигает 100 тыс. т, производство бериллия — около 0,8 тыс.т. Цена 1 т BeO в концентрате — 11 тыс. долл., металлического бериллия — около 500 долл/кг.

Типы промышленных месторождений

Все месторождения бериллия относятся к эндогенным. Промышленное значение имеют пегматитовые, гидротермальные плутоногенные и вулканогенные, грейзеновые.

Первое место (более 75 %) по запасам бериллия (без СНГ) занимают пегматитовые месторождения, на второе в последние годы вышли щелочные метасоматиты (около 12 %), на третьем и четвертом соответственно гидротермальные (6 %) и грейзеновые (5 %) месторождения. Однако по добыче распределение совершенно иное (в %): гидротермальные — 70, пегматитовые — 17, грейзеновые — 13. Метасоматиты пока не разрабатываются.

Гранитные редкометальные пегматиты различных по вещественному составу типов до сих пор являются важным источником бериллиевого сырья. Берилл извлекается обычно попутно при разработке пегматитов на мусковит, литий, цезий и тантал. Ведущая роль принадлежит берилл-мусковитовым и берилл-сподумен-лепидолитовым месторождениям. Месторождения первого типа залегают в метаморфизованных толщах на флангах пегматитовых полей. Берилл представлен крупнокристаллической разновидностью, пригодной для ручной разборки. В пегматитах литиевого типа берилл обычно мелкозернистый и развит на участках интенсивного метасоматического замещения. Крупные месторождения бериллоносных пегматитов находятся в Индии, Бразилии, США, КНР, Мозамбике.

Гидротермальные плутоногенные месторождения связаны с гипабиссальными мелкими интрузиями граносиенитов, кварцевых сиенитов и щелочных гранитов. Рудные тела приурочены к дорудным дайкам. Руды сложены флюоритом с фенакитом и берtrandитом и характеризуются высоким содержанием бериллия (0,5—1,5 % BeO). Месторождения этого типа имеются в Мексике (Агуачили).

Гидротермальные вулканогенные месторождения размещены в измененных липаритовых туфах и туфолавах. Руды образуют тонкие прожилки и вкрапленность в породах. Главные бериллиевые минералы — берtrandит и его водные разновидности.

ности — ассоциируют с халцедоном, опалом, флюоритом, кальцитом. Содержание BeO до 0,5—0,7 %. Примером месторождений данного типа является Спер-Маунтин (США).

Грейзеновые месторождения представлены штокверками и жилами в верхних частях гранитных куполов. Помимо берилла руды содержат минералы тантала, ниобия, лития, олова, вольфрама. Содержание BeO до 0,2—0,3 %. Месторождения бериллоносных грейзенов находятся в США, Австралии, КНР.

3.14. ТАНТАЛ И НИОБИЙ

Общие сведения

Применение. Тантал и ниобий близки по свойствам. Они широко используются для производства жаропрочных и нержавеющих сталей, сверхтвердых и сверхтугоплавких сплавов, применяемых в ракетно-, авиастроении, атомной энергетике, радиоэлектронике, химическом машиностроении. Значительная часть тантала используется для производства электролитических конденсаторов для ракет, космических кораблей.

Геохимия и минералогия. Кларк Nb $2 \cdot 10^{-3} \%$, Ta $2,5 \cdot 10^{-4} \%$. Повышенные содержания их характерны для гранитов, нефелиновых сиенитов, ультраосновных щелочных пород и карбонатитов. Коэффициент концентрации обоих металлов около 50. Известно более 50 минералов ниобия и тантала. Главное промышленное значение из них имеют минералы групп танталита — колумбита (Fe , Mn). $(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6$ (75—86 % Nb_2O_5 + Ta_2O_5) пирохлора — микролита $(\text{Na}, \text{Ca})_2(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6(\text{OH}, \text{F})$ (30—70 % Nb_2O_5 + Ta_2O_5) и лопарит $(\text{Na}, \text{Ca})(\text{Ti}, \text{Nb}, \text{Ta})\text{O}_3$ (8—20 % Nb_2O_5 + Ta_2O_5).

Типы руд и кондиции. Рассматриваемые металлы в месторождениях встречаются обычно совместно, образуя общие минералы. Соотношение $\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{Nb}_2\text{O}_5$ колеблется в широких пределах — от 3:1 до 1:1000. Поэтому выделяются руды танталовые, тантало-ниобиевые и ниобиевые. Минимальные содержания Nb_2O_5 — 0,1 %, Ta_2O_5 — 0,01 %.

Запасы и добыча. Мировые запасы (без стран СНГ) оцениваются в 15—20 млн т Nb_2O_5 и 0,15 млн т Ta_2O_5 . Крупные месторождения имеют запасы более 500 тыс. т Nb_2O_5 и более 15 тыс. т Ta_2O_5 , средние соответственно 500—100 и 15—2 тыс. т, мелкие — менее 100 и менее 2 тыс. т. Богатые месторождения

содержат более 0,4 % Nb_2O_5 и 0,025 % Ta_2O_5 , бедные соответственно 0,1—0,15 и 0,012—0,015 %. Крупные и богатые месторождения ниобия находятся в Бразилии (Борейро-де-Араша), тантала — в Канаде (Берник-Лейк). Мировое производство (без стран СНГ) ниобиевых концентратов (50—55 % Nb_2O_5) составляет 16 тыс. т, танталовых (60 % Ta_2O_5) — около 700 т. Кроме того, тантал извлекают при переработке шлаков оловоплавильных заводов (Таиланд, Малайзия, Конго). Цена 1 кг Nb_2O_5 изменяется от 9,4 долл. в колумбитовом до 7,16 долл. в пирохлоровом концентрате (60 % Nb_2O_5), а цена 1 кг Ta_2O_5 в танталитовом концентрате составляет 60 долл.

Типы промышленных месторождений

Основное промышленное значение для тантала и ниобия имеют следующие типы месторождений: магматические, пегматитовые, альбититовые, остаточные выветривания и осадочные россыпи.

Магматические месторождения представлены лопаритсодержащими нефелиновыми сиенитами и карбонатитами. Нефелиновые сиениты формируют крупные стратифицированные интрузии. Лопарит встречается во всех породах, но в наибольшей степени концентрируется в нижних частях ритмически чередующихся слоев. Руды слагают маломощные (до 1—2 м) пластообразные тела, которые пересекают весь массив.

Пирохлоровые карбонатиты приурочены к массивам ультраосновных — щелочных пород. Это эндогенные карбонатные породы с примесью амфиболов, апатита, магнетита. В рудах ниобий существенно преобладает над танталом. Месторождения этого типа известны в СНГ, Канаде, Бразилии.

Пегматитовые месторождения часто содержат тантал и ниобий, но главную роль играют пегматиты литиевого типа. Руды состоят из кварца, полевых шпатов и мусковита; главные рудные минералы — танталит и колумбит; извлекаются также сподумен, лепидолит, касситерит, берилл. Крупные месторождения этого типа имеются в Канаде, Бразилии, КНР, Зимбабве, США.

Альбититовые месторождения связаны с верхними частями небольших гранитных куполов, приурочены к зонам эндоконтакта и тектоническим нарушениям. В состав руд входят колумбит-танталит, микроклин, кварц, альбит, топаз, лепидолит, касситерит и вольфрамит. Подобные месторождения тантала и ниобия известны в Нигерии, Конго, Бразилии.

Остаточные месторождения выветривания площадного типа формируются при выветривании пегматитов и гранитов, содержащих тантал и ниобий. В коре выветривания содержатся кварц, касситерит, тантало-ниобаты, берилл. Месторождения этого типа выявлены в Бразилии, Зимбабве, Нигерии.

Россыпные месторождения элювиально-делювиального и аллювиального типов образуются при размыве кор выветривания. Тантало-ниобаты встречаются в них обычно вместе с касситеритом и вольфрамитом. Россыпи этого типа разрабатываются в Конго, Нигерии, Бразилии.

3.15. ЛИТИЙ

Общие сведения

Применение. Литий благодаря низкой плотности ($0,53 \text{ г/см}^3$), большой теплоемкости, высокой реакционной способности и возможности легко образовывать сплавы с бериллием, магнием, алюминием, медью, свинцом применяется более чем в 150 областях, в т. ч. в атомной энергетике, производстве пластмасс, электротехнике (в щелочных аккумуляторах), керамической и химической промышленности, металлургии. Кроме того, литий может служить источником получения трития для термоядерных процессов.

Геохимия и минералогия. Кларк лития $2,9 \cdot 10^{-3} \%$. Повышенные количества его характерны для кислых магматических и осадочных глинистых пород. Коэффициент концентрации — около 500. Литий содержится в 28 минералах. К промышленным относятся сподумен $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ (до 8 % Li_2O) и лепидолит (силикат, 2—6 % Li_2O). Извлекается он также из амблигонита (фосфат, 6—9 % Li_2O), циннвальдита (силикат, 3—4 % Li_2O), петалита (силикат, до 4,5 % Li_2O).

Типы руд и кондиции. Главными рудами лития являются сподуменовые (около 80 % запасов); промышленное значение имеют также лепидолитовые руды. Важным источником лития служит рапа некоторых озер, морская вода, подземные минерализованные воды. Кондиционное содержание — около 1 % Li_2O в руде и 0,05—0,1 % в рапе.

Запасы и добыча. Общие запасы лития (Li_2O) в капиталистических и развивающихся странах — около 30 млн т, из них разведанных — около 7 млн т. Крупные месторождения имеют

запасы более 500 тыс. т, средние — 200—500 тыс. т, мелкие — 100—200 тыс. т. Добыча лития за последние годы возросла в десятки раз и в настоящее время достигла в капиталистических и развивающихся странах 6,5 тыс. т (в пересчете на Li_2O). Цена гидроксида лития составляет 4,3 долл. за 1 кг, карбоната лития — 3,4 долл/кг.

Типы промышленных месторождений

Промышленные месторождения лития — это пегматиты и минеральные воды.

Пегматитовые литиевые месторождения представлены крутопадающими жилами сподумен-альбитового состава, пологими залежами, мощными линзообразными телами и штоками микроклин-сподумен (петалит)-альбитовых руд. В них содержится около 50 % запасов и добывается более 70 % лития. Литиевые пегматиты находятся в США, Канаде, Испании, Афганистане, Зимбабве, КНР.

В *минеральных водах* сконцентрировано более 50 % запасов лития. Выделяется несколько разновидностей литийсодержащих вод:

- 1) рапа высохших соляных и содовых озер (Серлс в США);
- 2) рассолы усыхающих озер, лагун, заливов и морей (Большое Соленое Озеро в США; Мертвое море; Солар-де-Атакама в Чили);
- 3) подземные рассолы (Клейтон-Велли в США);
- 4) подземные воды нефтяных и газовых месторождений.

3.16. РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Общие сведения

Применение. К редкоземельным элементам TR относятся лантан La, церий Ce, празеодим Pr, неодим Nd, прометий Pm, самарий Sm, европий Eu, гадолиний Gd, тербий Tb, диспрозий Dy, гольмий Ho, эрбий Er, тулий Tm, иттербий Yb, лютеций Lu и иттрий Y. Редкие земли используются в металлургии как легирующие и модифицирующие добавки, повышающие механические свойства, тепло- и жаропрочность сплавов черных и цветных металлов. Они применяются как катализаторы при крекинге нефти, в производстве кинескопов цветных телевизоров, люминофоров, сверхмощных магнитных сплавов, лазеров и мазеров, регулирующих стержней (Gd, Sm, Eu) в атомных реакторах, как источники радиоактивного излучения.

Геохимия и минералогия. Среднее суммарное содержание всей группы редких земель в земной коре около 0,01 %, содержание отдельных элементов варьирует от $2 \cdot 10^{-3}$ (тулий) до $4,6 \cdot 10^{-3}$ (церий). Повышенные концентрации характерны для щелочных и ультраосновных — щелочных пород. Коэффициент концентрации иттрия 100—150, остальных элементов группы — 50. Около 200 минералов включают редкие земли, к промышленным же относятся монацит (Ce, ThPO_4 (до 70 % TR_2O_3), ксенотим YPO_4 (до 60 %), бастнезит $\text{Ce(CO}_3\text{)F}$ (65—75 %), паризит $\text{Ce}_2\text{Ca(CO}_3\text{)}_2\text{F}_2$ (46—60 %), лопарит (Na, Ce, Ca) (Ti, Nb, TaO_3 (31—35 %), фергюсонит $\text{Y (NbO}_4\text{)}$ (30—45 %).

Запасы и добыча. Мировые запасы редкоземельных элементов (без СНГ) оцениваются в 45 млн т. Крупными считаются месторождения с запасами более 500 тыс. т TR_2O_3 средними — 500—100 тыс. т, мелкими — менее 100 тыс. т. Богатые руды содержат более 1—2 % TR_2O_3 , бедные — менее 0,3 %. Производство редкоземельных концентратов (60 % TR_2O_3) в капиталистических и развивающихся странах составляет 50 тыс. т, в том числе около 60 % в США. Редкие земли получают как из собственно редкоземельных руд (бастнезитовые и монацитовые), так и попутно при переработке тантало-ниобиевых и урановых руд. Цена 1 т бастнезитового концентрата 660 долл., монацитового — 350 долл.

Типы промышленных месторождений

Месторождения редких земель являются, как правило, комплексными. Основное промышленное значение имеют следующие типы: магматические, пегматитовые, гидротермальные плутоногенные, скарновые, остаточные выветривания, осадочные (россыпи и биохимические).

Гидротермальные плутоногенные месторождения пространственно и генетически связаны с массивами щелочных граносиенитов и приурочены к тектоническим нарушениям. Рудные тела имеют форму линз и жил. Состав руд сложный. Жильную массу образуют карбонаты кальция, магния и железа, магнетит, барит, флюорит, кварц; рудные минералы представлены бастнезитом, паризитом, монацитом. Такого типа месторождения известны в США (Маунтин-Пасс), КНР (Баюнь-Обо), Бразилии, Австралии.

Россыпные месторождения развиты широко и служат важным источником монацита, ксенотима, фергюсонита. Месторождения

рождения обычно комплексные: редкоземельные минералы сопровождаются цирконом, тантало-ниобатами, касситеритом, ильменитом, рутилом. Промышленно значимыми являются прибрежно-морские (для монацита) и элювиально-делювиальные россыпи. Крупные россыпные месторождения редких земель разрабатываются в КНДР, Индии, Шри-Ланке, Австралии, Мозамбике, Канаде, США.

Горно-геологические условия месторождений редких и редкоземельных элементов

Ловозерское месторождение находится на Кольском полуострове и приурочено к стратифицированному массиву щелочных нефелиновых сиенитов. Ловозерский щелочной массив сформировался в несколько этапов магматической деятельности и является сложным, хорошо расслоенным интрузивным телом. Среди вмещающих пород преобладающими являются архейские гнейсы и совершенно подчиненное значение имеют разнообразные по составу палеозойские эффузивные, осадочные и туфогенные толщи. В пределах массива установлены четыре комплекса пород — комплекс щелочных и нефелиновых сиенитов; комплекс луявритов — фоййитов — уртитов (рудноносный комплекс); комплекс эвдиалитовых луявритов и комплекс дайковых пород.

Породы рудоносного комплекса представлены, в основном, луявритами, фоййитами, уртитам и ювитами. Залегание комплекса пологое (8—16°, у контакта с вмещающими породами углы падения увеличиваются до 70°). Характерной особенностью рудного комплекса является его первичная расслоенность, выражающаяся в закономерном переслаивании пород одинакового вещественного состава, но отличающихся количественным соотношением породообразующих минералов и структурно-тектурными особенностями.

Рудная залежь, разрабатываемая рудником, имеет выдержанную пластообразную форму. В пределах горного отвода отрабатываются два рудных горизонта — рудный горизонт I (лопаритовые уртиты) со средней мощностью 0,87 м и рудный горизонт II (лопаритовые малиньиты) с мощностью 0,6—0,7 м.

Особенностью рудного комплекса является волнистость слоев, слагающих его. Длина волн по простиранию и по падению достигает 1,5 км при амплитуде от 10 до 50 м. Изменчивость азимута простирания и падения выдержанная в пределах

месторождения. Характер контактов рудных горизонтов с вмещающими породами нечеткий.

В пределах месторождения отмечено несколько тектонических структур, наиболее значительной из которых является сброс «Главный». Протяженность сброса по простиранию достигает 2 км, а по падению — 1,5 км. Амплитуда смещения по вертикали — 8 м. Азимут простирания сброса до — 120°, падение на юг под углом 35—45°. Крупной тектонической структурой является также зона расщепления в западной части месторождения. В этой зоне рудная залежь разделяется по мощности на две части слоем фойяитов. Длина зоны расщепления по простиранию 180—200 м, по падению — 800—1000 м.

Руды и вмещающие породы имеют следующий минеральный состав: нефелин, полевошпат, эгирин, лопарит, эвдиалит, мурманит, натролит и др.

По минеральному составу выделяются два типа руд — лопаритовые уртиты и лопаритовые малиниты. Характер распределения последнего минерала в руде равномерный (коэффициент вариации 10—40 %).

Гидрогеологические условия месторождения несложные. Питание подземных вод происходит за счет фильтрации по трещинам поверхностных вод, источником которых являются атмосферные осадки. Воды не агрессивные.

Руды и вмещающие породы месторождения однотипны по физико-механическим свойствам, имеют крепость по М. Протодакинову 10—12. Средняя плотность руд 2,7 т/м³ коэффициент разрыхления 1,5. Руды и вмещающие породы устойчивы при проведении горных выработок и только в местах интенсивного развития трещин и тектонической нарушенности становятся менее устойчивы и требуют крепления.

Гольцовое месторождение редкометальных пегматитов находится в Иркутской области в среднем течении р. Б. Белой в Восточных Саянах и приурочено к восточному борту южной половины Урикско-Ийского грабена. Эта структура является геосинклинальным трогом, приуроченным к краевой части Сибирской платформы и выполнена метаморфизованными терригенно-карбонатными и вулканогенно-осадочными образованиями среднепротерозойского возраста. В пределах грабена среднепротерозойские породы довольно интенсивно дислоцированы — смяты в складки и разбиты разрывными нарушениями. На большей части месторождения среднепротерозойские поро-

ды перекрыты рыхлыми осадками четвертичного возраста. Они представлены аллювиальными русловыми валунно-галечными отложениями, а также глыбово-щебенистыми делювиальными отложениями склонов, имеющими мощность до 10 м.

В районе месторождения развиты магматические образования средне- и подзднепротерозойского возраста, которые относятся к трем интрузивным комплексам — комплекс основного состава мощностью 50—250 м; комплекс гранитоидов, комплекс диабазов и диабазовых порфиров.

Пегматитовое поле линейно вытянуто в субмеридионально-северо-западном направлении и прослежено на расстояние около 10 км при ширине 3—3,5 км. Площадь участка составляет 30 км². Простираие пегматитовых тел совпадает с ориентировкой Хусан-Жалгинского регионального разлома и сопряженных нарушений. Как правило пегматитовые тела образуют жильные зоны, представленные серией сближенных тел. Реже наблюдаются отдельные жилы линзовидной и плитообразной формы. В пределах жильных зон часто затруднительно выделить отдельные пегматитовые тела.

В зависимости от литологического состава вмещающих пород выделяются два типа жильных зон.

Первый тип развит в слюдистых, реже амфиболсодержащих сланцах и являет собою скопления сближенных линзовидных, четковидных и плитообразных тел, часто соединяющихся или разветвляющихся по простиранию и падению. Как правило эти тела и серии субсогласны слоистости вмещающих пород и при выклинивании образуют структуры типа «конского хвоста». Жильные зоны первого типа наиболее распространены на месторождении. Для одиночных пегматитовых тел первого типа характерна протяженность от десятков до первых сотен метров при мощности от первых метров до 10—12 м. В отдельных случаях жилы имеют протяженность до 1 км при мощности до первых десятков метров. Для жильных серий характерна протяженность до 1—2 км при мощности до 30 м. Наиболее крупные из них прослежены на расстояние до 4—5 км и в раздувах достигают мощности 50—60 м. Следует отметить, что пегматитовые тела первого типа характеризуются весьма значительной изменчивостью мощности из-за частой смены раздувов и пережимов. Исключением являются довольно выдержанные по мощности плитообразные тела.

Второй тип представлен сериями сближенных коротких перечных тел типа лестничных жил, развивающихся в массивных ортоамфиболитах. Для них протяженность варьирует от нескольких метров до 50—60 м при мощности от первых метров до 10 м.

Для западного блока месторождения характерны преимущественно одиночные пегматитовые тела, а для восточного — жильные серии.

Пегматитовые тела и серии окружены ореолами гидротермально-метасоматических изменений, выражающихся в развитии в их экзоконтактах зон биотитизации, реже турмалинизации. Аналогичные процессы иногда наблюдаются и вдоль тектонических нарушений при условии наследования их пегматитовыми телами. Мощность ореолов изменений достигает 10—15 м и прямо зависит от мощности пегматитовых тел. Наиболее ярко эти процессы, особенно биотитизация, протекают в амфиболовых породах. Часть прослоек вмещающих пород, разделяющих сближенные пегматитовые тела и являющихся ксенолитами в них, нацело превращены в биотитовые слодиты, отличающиеся высоким содержанием цезия, входящего в состав биотита.

Пегматиты месторождения имеют беловато-сероватую окраску и весьма контрастно выделяются на фоне меланократовых (черных, темно-серых, зеленовато-черных, темно-зеленых, серо-буроватых) вмещающих пород.

Процесс формирования пегматитов месторождения был многостадийен. Пегматиты имеют сложный минеральный состав и сформировались в результате наложения друг на друга четырех последовательно сменяющихся парагенетических минеральных ассоциаций — комплексов. Наиболее ранним комплексом является *кварц-сподумен-альбитовый*. Для него характерен «аплиитовидный» облик, мелко-среднезернистые, равномернозернистые структуры, однородность распределения породообразующих главных минералов, массивные текстуры. Распространенность главных породообразующих минералов падает в ряду альбит, кварц, сподумен, микроклин, мусковит. Аксессуарными минералами являются турмалин, касситерит, колумбит, берилл.

Кварц-альбит-сподумен-микроклиновый комплекс образовался во вторую стадию. Ему присущи неравномерно-зернистые структуры с размером зерен от долей до десятков сантиметров. Мелкозернистые разности тяготеют к приконтактовым участ-

кам, а крупнозернистые и блоковые агрегаты отмечаются во внутренних частях пегматитовых тел, что придает им зонально-полосчатое строение. Распространенность комплексобразующих минералов падает в ряду микроклин, сподумен, кварц, альбит, мусковит. Акцессорными минералами являются монтебразит, поллуцит, берилл, турмалин, гранат, касситерит, колумбит.

Третьим по счету сформировался *кварц-мусковитовый* комплекс, имеющий локальное распространение и наблюдаемый в виде линзовидных и прожилковых выделений приуроченных к залбандам пегматитовых тел. Комплекс сложен кварцем, мусковитом и в виде аксессуаров содержит касситерит, берилл и апатит.

Кварц-мусковит-альбитовый комплекс образовался в завершающий этап формирования пегматитовых тел и состоит из прожилки, ориентированные субпараллельно контактам с вмещающими породами, реже расположенные к ним под углом, что придает пегматитам грубополосчатый, сетчатый и пятнистый облик. Комплекс сложен альбитом, кварцем, мусковитом, турмалином и гранатом. Кроме того, в значительных количествах в нем встречается колумбит-танталит, касситерит, берилл, сподумен, апатит, арсенопирит, циркон, уранинит.

Пегматиты месторождения являются полиметалльными и могут разрабатываться для получения лития, цезия, тантала, ниобия, бериллия, олова. Установлена тенденция металлогенической специализации различных блоков месторождения. Пегматиты западного блока более специализированы по литию при резко подчиненных концентрациях других металлов и могут считаться монометалльными.

В то же время, для восточного блока, особенно для жильных серий, при преобладающей роли лития, резко возрастают концентрации прочих металлов (тантала, ниобия, олова) и руды становятся комплексными.

Основным металлом пегматитов является *литий*, до 90 % которого фиксируется в литиевом пироксене — сподумене ($\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$) содержащем от 6 до 8 % Li_2O . Частично этот металл связан с монтебразитом-амблигонитом, лепидолитом, литиевым мусковитом. Наиболее высокие концентрации лития связаны с пегматитами второго комплекса, содержащими до 30—50 % сподумена.

Основным минералом — концентратором *цезия* является поллуцит $\text{Cs}_2(\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12})\cdot\text{H}_2\text{O}$, содержащий до 30—32 % Cs_2O .

Кроме того, источником цезия может служить цезиевый биотит зон околорудных гидротермально-метасоматических изменений, содержащий первые проценты этого металла. Максимальные скопления поллуцита связаны с пегматитами кварц-альбит-сподумен-микроклинового состава, залегающими в амфиболовых породах.

Основными минералами *тантала* и *ниобия* являются колумбит и танталит, встречающиеся как акцессорные минералы в пегматитах первого и второго комплексов и образующие промышленные концентрации в завершающем кварц-мусковит-альбитовом комплексе в участке максимального развития альбита. Особенно перспективны на Ta и Nb пегматитовые тела, залегающие в амфиболовых породах.

Основным минералом *бериллия* является берилл, максимальное количество которого связано с кварц-мусковитовым комплексом.

Олово на месторождении связано с касситеритом, являющимся «сквозным» акцессорным минералом. Максимальные концентрации этого минерала характерны для кварц-мусковит-альбитового завершающего комплекса.

Подсчитанные на месторождении запасы лития составляют 4 млн т в пересчете Li_2O , а прогнозные запасы составляют 12 млн т.

Рыхлые четвертичные покровные отложения характеризуются сезонной обводненностью и в связи с отсутствием внутриформационных водоупоров не содержат водоносных горизонтов. Водоносность этих пород резко повышается в осенне-летний период за счет атмосферных осадков и талых вод.

В среднепротезойских породах подземные воды имеют трещинный характер и зависят от литологического состава вмещающих пород. Алюмосиликатные некарстующиеся высокометаморфизованные породы — различные сланцы, амфиболиты, кварцитопесчаники и др. характеризуются невысокой водообильностью. Дебиты родников варьируют от сотых долей до 3—5 л/с. Обычно они приурочены к зонам контактов пластов пород различного литологического состава. Дебит скважин колеблется от 0,05 до 0,95 л/с при понижениях 13—48 м. Минерализация вод 0,03—0,25 г/л. Воды, как правило, гидрокарбонатные, реже сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевые и смешанные.

В горизонтах карбонатных и карбонатсодержащих пород воды имеют гидрокарбонатно-Са или гидрокарбонатно-Са-Mg состав.

Дебит родников варьирует от 2—3 до 15 л/с.

Режим трещинных вод находится в прямой зависимости от количества атмосферных осадков и максимум водообильности наблюдается в летне-осенний период.

В районе месторождения спорадически развита островная многолетняя мерзлота, на водоразделах и склонах долин на высотах более 1300 м. Мерзлые породы способствуют формированию местных водоупоров, что приводит к образованию линз надмерзлотных вод, дренируемых единичными родниками с дебитом 0,1—1 л/с, питание которых осуществляется за счет оттаивания мерзлых пород.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите области применения железа.
2. Какие минералы и типы руд железа имеют промышленное значение?
3. Каковы основные показатели кондиций по типам руд?
4. Дайте оценку горно-геологических условий Ковдорского месторождения.
5. Дайте оценку горно-геологических условий Михайловского месторождения.
6. Дайте сопоставление качественных показателей Ковдорского и Михайловского месторождений.
7. В каких областях промышленности используется марганец?
8. Как распределены по странам запасы и добыча марганцевых руд?
9. Какие минералы и типы руд и месторождений марганца имеют промышленное значение?
10. Расскажите об особенностях морфологии, условий залегания и вещественного состава осадочных марганцевых месторождений. Приведите примеры.
11. Перечислите основных потребителей хромитов.
12. В каких странах сосредоточены основные запасы и добыча хромитовых руд?
13. Каковы показатели кондиций для хромитовых руд?
14. Дайте характеристику морфологии, условий залегания и вещественного состава магматических хромитовых месторождений. Приведите примеры.
15. В каких областях промышленности применяются никель и кобальт?
16. Как распределены по странам запасы и добыча никелевых и кобальтовых руд?
17. Назовите промышленные минералы и типы руд никеля и кобальта.
18. Дайте характеристику геологического строения и вещественного состава ликвационных магматических месторождений сульфидных руд. Приведите примеры.

19. Расскажите об особенностях морфологии, условий залегания и вещественного состава кобальт-никелевых остаточных месторождений выветривания. Приведите примеры.
20. Перечислите области применения вольфрама и молибдена.
21. В каких странах сосредоточены основные запасы и добыча этих металлов?
22. Назовите основные черты геохимии и минералогии вольфрама и молибдена, промышленные типы руд и показатели кондиций.
23. Какие типы месторождений играют ведущую роль в добыче и запасах вольфрама и молибдена?
24. Дайте характеристику морфологии, условий залегания и вещественного состава гидротермальных месторождений вольфрама и молибдена. Приведите примеры.
25. Расскажите об особенностях геологического строения и вещественного состава скарновых вольфрам-молибденовых месторождений. Приведите примеры.
26. Назовите свойства и области применения алюминия.
27. Какие минералы и типы руд имеют промышленное значение для алюминия?
28. Назовите основные промышленные типы месторождений алюминия.
29. Дайте сравнительную характеристику горно-геологических условий месторождений СУБРа и Амангельдынской группы.
30. Дайте характеристику минерального и вещественного состава руд Кия-Шалтырского месторождения.
31. Какие свойства меди определяют ее широкое использование в промышленности?
32. Как распределяются по странам мировые запасы и добыча меди?
33. Назовите основные особенности геохимии и минералогии меди. Какие показатели кондиций установлены для различных типов медных руд?
34. Какие типы месторождений имеют промышленное значение?
35. Какие особенности морфологии, условий залегания, вещественного состава и гидрогеологии присущи Удоканскому месторождению?
36. Какие особенности морфологии, условий залегания, вещественного состава, гидрогеологии и инженерной геологии присущи Гайскому месторождению?
37. В каких областях промышленности применяется олово?
38. Назовите промышленные минералы и типы руд олова.
39. Дайте оценку пространственно-морфологических факторов Депутатского месторождения.
40. Дайте характеристику качества руд Хрустальненского месторождения.
41. Оцените горно-геологические условия россыпного месторождения олова Соур.
42. Перечислите области применения свинца и цинка.
43. Расскажите об особенностях геохимии и минералогии свинца и цинка. Какие показатели кондиций установлены для различных типов руд?
44. Какие особенности морфологии, условий залегания и вещественного состава характерны для гидротермальных свинцово-цинковых месторождений?

45. Дайте сравнительную характеристику горно-геологических условий Лениногорского и Холоднинского месторождений.

46. Какие отрасли промышленности используют сурьму и ртуть?

47. Назовите промышленные минералы и типы руд сурьмы и ртути.

48. Дайте характеристику горно-геологических условий Хайдарканского месторождения.

49. Дайте характеристику качественных показателей Никитовского месторождения.

50. Дайте характеристику минерально-сырьевой базы золота.

51. Опишите особенности геохимии и минералогии золота. Какие показатели кондиций установлены для различных типов руд золота?

52. Какие особенности геологического строения и вещественного состава характерны для гидротермальных золоторудных месторождений?

53. Что представляют собой метаморфизованные месторождения золотосных рудных конгломератов?

54. Дайте горно-геологическую характеристику месторождения Мурунтау.

55. Приведите данные о запасах и добыче урана.

56. Какие особенности геохимии и минералогии характерны для урана?

57. Расскажите об особенностях геологического строения и вещественного состава различных типов месторождений урана.

58. Дайте характеристику свойств и областей применения редких и рассеянных элементов.

59. Приведите данные о запасах и добыче этих элементов.

60. Какие минералы и типы месторождений редких и рассеянных элементов имеют промышленное значение?

61. Дайте характеристику свойств и областей применения редкоземельных элементов.

62. Приведите данные о запасах и добыче этих элементов.

63. Какие минералы и типы месторождений редкоземельных элементов имеют промышленное значение?

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ИХ ОСВОЕНИЯ

К неметаллическим относятся полезные ископаемые, используемые в народном хозяйстве благодаря их специфическим физическим и физико-химическим свойствам, особенностям минерального состава, а также возможностям получения различных продуктов и материалов. Их не применяют для извлечения металлов (кроме калия, магния, натрия и др.) и в качестве естественного топлива (кроме соединений бора как ракетного топлива и соединений фтора). Группа неметаллических полезных ископаемых по числу видов гораздо обширнее групп металлических и горючих полезных ископаемых. К неметаллическим относят свыше 130 промышленных видов полезных ископаемых, которые используются в естественном виде или после предварительной переработки.

В естественном состоянии применяются такие промышленные кристаллы, минералы и горные породы, как асбест, слюды, тальк, исландский шпат, алмаз, оптический флюорит, драгоценные и поделочные камни, гранат, корунд и другие абразивные материалы, песок, гравий, строительные камни (изверженные, метаморфические и осадочные породы), графит, диатомит, магнезит и доломит, служащие огнеупорными, теплоизоляционными и связующими материалами, поваренная соль (пищевая), цеолиты, бентониты и другие природные сорбенты.

В переработанном виде минералы и горные породы пригодны для получения стекла (кварцевый песок, полевые шпаты), керамики, кислотоупорных и теплоизоляционных материалов (глины, кремнистые породы, вермикулит и др.), вяжущих веществ (известняк, мел, мергель, гипс), минеральных удобрений (фосфориты, апатиты), химических продуктов (сера, серосодержащие породы, бораты, минеральные соли, барит и др.). По

отношению к тем видам неметаллических полезных ископаемых, которые используются для извлечения из них в процессе промышленной переработки ценных химических элементов, минералов и минеральных агрегатов, употребляется термин «руда». Таковыми являются асбестовые, графитовые, слюдяные (мусковитовые, флогопитовые), апатитовые, фосфоритовые, серные, баритовые, калийные и многие другие руды.

Неметаллические полезные ископаемые существенно отличаются от металлических и горючих особенностями оценки их качества и направлений промышленного использования. При изучении их важно не столько выявление содержаний полезных компонентов, сколько оценка технических и физико-химических свойств, которые влияют на технологию переработки и качество конечной промышленной продукции. Поэтому качество неметаллических полезных ископаемых регламентируется стандартами, техническими условиями, кондициями, определяющими возможности применения каждого вида, разновидности и сорта сырья в той или иной отрасли промышленного производства.

Неметаллические полезные ископаемые представляют собой, как правило, сырье многоцелевого назначения. Так, в зависимости от конкретных показателей качества флюорит может использоваться в оптическом производстве, стекольной, металлургической и химической промышленности, сера — в сельском хозяйстве как составная часть ядохимикатов, в химической, резиновой, бумажной и пищевой промышленности, целолиты — в сельском хозяйстве, при очистке газов, природных и сточных вод, для извлечения металлов.

Кроме того, многие неметаллические полезные ископаемые, обладая общими свойствами, могут заменять друг друга в промышленном производстве.

Отмеченные обстоятельства обуславливают сложность изучения и оценки промышленной ценности месторождений неметаллических полезных ископаемых. Помимо определения запасов полезного ископаемого, содержания ценных компонентов (для неметаллических руд), горно-технологических условий разработки и переработки, требуется изучение значительного комплекса физико-механических, физико-химических и технологических свойств для сертификации сырья и установления для каждого сорта конкретных направлений промышленного использования.

Классификация неметаллических полезных ископаемых по принципу промышленного применения вследствие их разнообразия

разия и многоцелевого назначения представляет сложную задачу. Наиболее известные классификации П.М. Татаринова, В.М. Крейтера, Р. Бейтса, И.Ф. Романовича, В.М. Борзунова, Н.П. Ермакова и В.И. Смирнова предусматривают разделение неметаллического сырья по сферам практического использования с учетом минералого-петрографических особенностей, характера полезных свойств и условий переработки. Главным недостатком большинства классификаций является необходимость относить одно и то же полезное ископаемое к разным классификационным группам.

В настоящем учебнике принята классификация, наиболее широко распространенная в учебной и научно-технической литературе. Разделение неметаллических полезных ископаемых на три группы основано в ней на ведущих полезных свойствах и главных направлениях промышленного применения.

1. Индустриальное сырье: драгоценные, поделочные и технические камни — алмаз, рубин, сапфир, изумруд, гранаты, малахит, агаты и др.; пьезооптическое и электротехническое сырье — пьезокварц, исландский шпат, оптический кварц, оптический флюорит, мусковит, флогопит; тепло- и звукоизоляционные, кислото- и щелочеупорные, а также огнеупорные материалы и добавочное сырье для металлургии — графит, асбесты хризолитовые и амфиболовые, тальк, магнезит, флюорит, барит, витерит; природные сорбенты — цеолиты, бентониты и др.

2. Химическое и агрономическое сырье: минеральные соли — калийные, калийно-магниевые, поваренная, сульфат натрия, природная сода; фосфатное сырье — апатит и фосфориты; серное и борное сырье.

3. Минеральное сырье для промышленности строительных материалов: для производства заполнителей легких бетонов и термоизоляционных материалов — пемза, вулканические и известковые туфы, диатомиты, трепелы, опоки, перлит, вермикулит; строительный и облицовочный камень — изверженные, осадочные и метаморфические горные породы; сырье для получения вяжущих материалов — карбонатные породы, гипс и ангидрит; строительный песок и песчано-гравийные материалы; керамическое сырье — глины и каолины, полевые шпаты, пегматиты; стекольное сырье; породы для каменного литья; минеральные пигменты.

Первая группа объединяет полезные ископаемые — минералы и горные породы, обладающие специфическими физиче-

скими свойствами — теплостойкостью, огнеупорностью, высокой твердостью, пьезоэлектрическими и оптическими эффектами и др. Они используются в естественном виде или после обогащения. Химические и агрономические руды подвергаются более глубокой переработке для извлечения ценных химических элементов и соединений. В третью группу входят горные породы, которые применяются в промышленности строительных материалов в естественном виде, а также после термической или физико-химической переработки.

Границы между выделенными группами не являются строгими. Отдельные виды неметаллических полезных ископаемых, имеющие многоцелевое назначение (барий, магнезит, гипс, ангидрит, флюорит, кварц, полевые шпаты, нефелин и др.), могут попадать в различные классификационные группы.

Неметаллические полезные ископаемые сложены преимущественно петрогенными элементами, которые концентрируются в экзогенных процессах. Поэтому большинство месторождений неметаллического сырья относится к седиментогенной серии. Многие виды индустриального сырья (алмаз, графит, кварц, тальк, слюды, асбесты и др.) формируются в эндогенных условиях. Для ряда неметаллических полезных ископаемых характерны месторождения промежуточного генезиса — магматогенно-метаморфогенные и магматогенно-седиментогенные.

4.1. ДРАГОЦЕННЫЕ, ПОДЕЛОЧНЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ КАМНИ

Общие сведения

К драгоценным (ювелирным) и поделочным камням (камнесамоцветное сырье) относят кристаллы минералов, их агрегаты, горные породы, которые обладают высокой эстетической ценностью благодаря прозрачности, красивой окраске, цветовой игре, яркому блеску, высокому показателю преломления, значительной его дисперсии, опалесценции, иризации, твердости, структурному рисунку, способности к огранке, шлифовке и полировке. Техническими камнями называют некоторые виды камнесамоцветного сырья (как правило, менее ценных сортов, чем ювелирные), которым присущи какие-то особые физические свойства: высокая твердость, вязкость, механическая прочность, высокое двупреломление и др.

Камнесамоцветное сырье в зависимости от показателей физических свойств, определяющих его эстетическую ценность, распространенности и, следовательно, стоимости подразделяется на несколько групп. В классификации Е.Я. Киевленко приняты следующие группы и классы (порядки):

1. Ювелирные (драгоценные) камни: алмаз (в ограненном виде — бриллиант), изумруд, рубин, сапфир, александрит (дихромирующий хризоберилл) (I порядок); оранжевый, фиолетовый и зеленый сапфир, благородный черный опал, благородный жадеит (II порядок); демантоид (ярко-зеленый известково-железистый гранат), шпинель; благородный и огненный опал, аквамарин (зеленовато-голубой берилл), топаз, родолит, турмалин (III порядок); хризолит (ювелирный оливин), циркон, желтый, зеленый и розовый берилл, кунцит, бирюза, аметист (фиолетовый кварц), пироп, альмандин, лунный и солнечный камень, хризопраз, цитрин (IV порядок).

2. Ювелирно-поделочные камни: лазурит, жадеит, нефрит, малахит, янтарь, горный хрусталь, чароит (I порядок); агат амазонит, родонит, гематит-кровоавик, иризирующий обсидиан, обыкновенный опал, непрозрачные иризирующие полевые шпаты (II порядок).

3. Поделочные камни: яшма, письменный гранит, окаменелое дерево, мраморный оникс, лиственит, обсидиан, гагат, селенит, флюорит, авантюриновый кварцит, агальматолит, цветной мрамор, порфиры, брекчии.

Качество драгоценных и поделочных камней регламентируется стандартами и техническими условиями. Главными показателями качества являются размер бездефектных частей, прозрачность, тон и равномерность распределения окраски, количество и размер посторонних включений и каверн, содержание примесей, интенсивность проявления оптических эффектов, декоративность рисунка. Стоимость драгоценных камней определяется их качеством и массой. Ювелирные камни I порядка стоят более 1500 долл. за карат (1 кар = 0,2 г) и стоимость их возрастает пропорционально квадрату массы. Драгоценные камни II порядка оцениваются в пределах 500—1200 долл/кар, III порядок — 50—300 долл/кар и IV порядок — 5—40 долл/кар. Стоимость ювелирно-поделочных камней I порядка варьирует от 30—150 до 1000 долл/кг, II порядка от 5 до 15 долл/кг, а поделочных камней не превышает 1,5 долл/кг.

Ювелирные алмазы разделяются на сорта по величине, степени прозрачности, окраске, наличию примесей, включений и

дефектов (пятен, мути, трещин). Высококачественными считаются бесцветные и с голубым оттенком бездефектные кристаллы; появление желтого и других оттенков снижает их стоимость. Минимальный размер ювелирных алмазов 0,05 кар. К крупным относят алмазы массой более 10 кар, а при массе более 50 кар алмазам дают названия.

За всю историю добычи алмазов в мире найдено 36 ювелирных камней массой более 40 кар каждый. Наиболее крупным являлся алмаз «Куллинан» — обломок кристалла массой около 3026 кар и размером 5×6,5×10 см. При его обработке были получены два крупных («Звезда Африки» 530,2 кар и «Куллинан-II» 317,4 кар) и 103 мелких бриллианта общей массой около 1064 кар. Этот выход бриллиантов из алмазов (34,25 %) считается достаточно высоким, поскольку потери при обработке алмазов достигают 50 %. России принадлежат крупные и ценные исторические бриллианты «Орлов» (194,8 кар) и «Ших» (88,7 кар). Наиболее крупными ювелирными алмазами, найденными в России, являются «Звезда Якутии» (232 кар), «Мария» (105,8 кар) и «Валентина Терешкова» (51,66 кар).

К техническим камням принадлежат минералы с высокой твердостью и абразивностью (алмаз, корунд, гранат), механической прочностью и вязкостью (агат, нефрит), пьезоэлектрическими свойствами (кварц, турмалин), способные образовывать оптически однородные среды (рубин, сапфир, изумруд). Технические камни применяются для производства мелких деталей в точных приборах (подпятники, подшипники, опорные призмы, втулки, часовые камни), изготовления фильер и абразивного инструмента, лабораторного оборудования (ступки и пестики), квантовых генераторов. Качество технических камней определяется однородностью строения, наличием включений и трещин, размерами.

Технические алмазы по качественным признакам разделяются на сорта. Борт — это неправильной формы обломки кристаллов, сростки, лучистые и зернистые агрегаты темной окраски, непрозрачные. Балласами называются тонкозернистые агрегаты шаровидной формы с более твердой, чем ядро, оболочкой. Карбонадо представляют собой тонкозернистые и пористые агрегаты темно-зеленого и черного цвета с твердой оболочкой. Конго — это алмазная мелочь и мелкие наиболее низкосортные непрозрачные кристаллы неправильной формы.

Борты и балласы используются в фильерах для волочения проволоки, для резки и сверления стекла, градуировки измери-

тельных приборов, для зубьев алмазных пил и буровых коронок. Абразивные свойства карбонадо выше, чем алмазов других сортов, поэтому они применяются для резцов, фрез, буровых коронок. Абразивные инструменты и материалы (шлифовальные и полировальные круги, шкурки, напильники и пасты) изготавливают из низкосортного борта и конго. Стоимость природных технических алмазов в среднем составляет около 6 долл/кар.

В последнее время в качестве особой разновидности камне-самоцветного сырья рассматривают декоративный коллекционный материал, который ценится за природную красоту и своеобразие форм выделения. Механической обработке он не подвергается. К главным показателям качества коллекционного материала относятся морфология индивидов и агрегатов, а также яркие окраски и прозрачность кристаллов. Ценность коллекционного материала повышают особые морфологические (необычные формы выделения, эффектные минеральные включения, особо крупные размеры кристаллов), оптические (цветовые эффекты, редкие окраски) и эстетические (композиционная законченность форм агрегатов) показатели, в совокупности определяющие уникальность образцов.

По морфологическому признаку различают несколько видов коллекционного материала: идиоморфные кристаллы; друзы, щетки, кристаллические корки; секречии; радиально-лучистые, сноповидные, игольчатые, волокнистые агрегаты в породе; сталактиты, сталагмиты, почко- и кораллоподобные образования.

Декоративный коллекционный материал характеризуется обилием минеральных видов и разновидностей, при этом декоративными могут быть многие минералы, представляющие собой полезные ископаемые промышленного назначения или спутники руд. Коллекционным материалом являются отдельные образцы драгоценных и ювелирно-поделочных камней, отличающиеся особыми формами выделения, значительной величиной и высокими качественными показателями. К декоративному коллекционному материалу относятся также редко встречающиеся хорошо образованные кристаллы, друзы, жеоды основных продуктивных материалов различных видов полезных ископаемых и их спутников, которые ценятся значительно дороже продукции, используемой по прямому назначению.

В настоящее время широко развиты синтез минералов и облагораживание природных образований. Искусственным путем

получают кварц и его окрашенные разновидности (дымчатый кварц, аметист, цитрин), алмаз, изумруд, рубин, сапфир, шпинель, благородный опал, бирюзу, александрит, лазурит и др. Синтезируют также соединения специфического состава, не имеющие природных аналогов: иттрий-алюминиевый гранат (ИАГ), оксиды гафния и циркония (фианиты), титанат стронция, синий кварц и др. По физическим свойствам эти синтетические камни отвечают требованиям, предъявляемым к ювелирному сырью. Синтетические минералы значительно дешевле природных, однако ювелирные синтетические алмазы массой более 1 кар дороже их.

Для улучшения качества камнесамоцветного сырья — усиления окраски, повышения прозрачности, устранения внутренних дефектов — проводят облагораживание природных камней различными методами — γ -облучением, пропиткой красителями, нагреванием и др. облагораживают и коллекционное сырье путем доразцовывания плохо сохранившихся кристаллов в автоклавах.

Запасы драгоценных, поделочных и технических камней (кроме алмаза) в капиталистических и развивающихся странах, как правило, не оцениваются. Общие мировые запасы алмазов (без СНГ) составляют более 2000 млн кар, в т. ч. 57 % запасов приходится на страны Африки и 42 % — на Австралию. Запасы алмазов в Южной Америке 22 млн кар, в Азии — 2,5 млн кар. Наибольшими запасами алмазов (в млн кар) обладают следующие страны: Австралия — 980, Конго — 520, Ботсвана — 300, ЮАР — 250, Ангола — 60, Гана — 50, Индия и Индонезия — по 1,2—1,3.

Суммарная мировая добыча алмазов к настоящему времени (1993 г.) составила около 328 т. Ежегодная добыча (без СНГ) достигла 66 млн кар. По добыче технических алмазов первое место в мире принадлежит Конго (65 %), ювелирных — ЮАР. Ювелирные алмазы поставляют также Намибия, Гана, Ангола, Сьерра-Леоне. В других странах получают преимущественно технические алмазы. Производство синтетических алмазов постоянно возрастает и в настоящее время превысило 100 млн кар.

Ведущими странами по добыче драгоценных и поделочных камней являются Мьянма, Таиланд, Камбоджа, Шри-Ланка, Индия, Австралия, ЮАР, Танзания, Намибия, Замбия, Зимбабве, Кения, США, Мексика, Бразилия, Колумбия, Уругвай, Гайана. В добыче различных видов камнесамоцветного сырья важ-

ная роль принадлежит следующим странам: изумруд — Колумбия, Бразилия, ЮАР, Замбия, Зимбабве, Индия; сапфир — Таиланд, Камбоджа, Австралия; рубин — Мьянма, Кения; аметист — Бразилия, США, Франция; турмалин — США, Мозамбик, Шри-Ланка, Мьянма, Бразилия; топаз — Нигерия, Бразилия, США; хризолит — США, ЮАР; пироп — ЮАР, Бразилия, Мадагаскар; благородная шпинель — Шри-Ланка, Мьянма, Бразилия, цитрин — Бразилия, США, КНР; малахит — Конго, Замбия, США. В СНГ известны месторождения изумруда, аквамарины, топаза, хризопраза, жадеита, бирюзы, малахита, нефрита и многих других видов камнесамоцветного сырья.

Типы промышленных месторождений

Месторождения драгоценных, поделочных и технических камней образуются в различных генетических условиях. Наибольшее значение имеют следующие типы: магматический, пегматитовый, гидротермальный, контактово-метасоматический метаморфогенный, выветривания, осадочный.

Магматические месторождения. К этому генетическому типу относятся месторождения алмаза и сопровождающих его хризолита и пироба в кимберлитовых трубках, циркона, сапфира и хризолита в щелочных и основных эффузивных породах, а также альмандина в кислых и средних эффузивах.

Раннемагматические месторождения алмазов пространственно и генетически связаны с кимберлитовым магматизмом на древних платформах. Кимберлитовая магма формировалась в процессе дифференциации ультраосновной магмы при ее движении из мантии к поверхности или в промежуточных магматических очагах в верхней части земной коры под мощной осадочной толщей.

Кимберлиты — это гипабиссальные ультраосновные породы повышенной щелочности с порфировидной структурой. Вкрапленники представлены алмазом, пиропом, хромдиопсидом, оливином, магнетитом, флогопитом. Основная масса состоит из карбонатов, оливина, пироксена, флогопита, магнетита, ильменита, перовскита, апатита. Породы обычно интенсивно изменены вторичными процессами.

Кимберлитовые тела (трубки, реже дайки и силлы) развиты в пределах древних платформ на всех континентах. Наибольшее распространение они имеют в пределах Южно-Африканской и Сибирской платформ. Пространственное размещение тру-

бок контролируется древними разломами. В плане трубки имеют различную форму — округлую, овальную, линзовидную. Размеры в плане варьируют от нескольких метров до 1 км. Размеры самой крупной трубки Мвадуи в Танзании 2525×1068 м. С глубиной сечение трубок обычно уменьшается и они переходят в дайки. В настоящее время в мире найдено более 2000 кимберлитовых тел, из которых 10 % алмазоносны, и около 2,5 % разрабатывается. Содержание алмазов в промышленных месторождениях колеблется от 0,2 до 10—15 кар на 1 т.

Кимберлитовые трубки характеризуются сложным строением. В их пределах выделяются несколько типов кимберлитов, различающихся по минеральному составу и текстурно-структурным особенностям, а также кимберлитовые брекчии, туфы и туфобрекчии. Верхние части трубок, как правило, интенсивно изменены в результате гипергенных и гидротермальных процессов («желтая» и «голубая» земля). Распределение алмазов в трубках неравномерное. С глубиной алмазоносность уменьшается; в дайках алмазы обычно отсутствуют.

Якутская алмазоносная провинция включает алмазоносные области, районы и кимберлитовые поля. Последние совпадают со структурами второго порядка — антеклизмами, синеклизмами и передовыми прогибами. Трубка «Мир» имеет овальную форму в плане и воронкообразную — в разрезе (см. рис. 1.4). Она прорывает горизонтально залегающие карбонатные породы (доломиты, известняки, мергели) и сложена шестью разновидностями кимберлитовых пород. В верхней части трубки кимберлиты сильно изменены. Алмазы в породах распределены относительно равномерно.

Трубка «Удачная» открыта в Якутии в 1955 г. при проведении шлихового опробования на пироп. Трубка «Удачная», залегающая в ордовикских известняках и выходящая на поверхность на склоне долины ручья «Пиропового» состоит из двух сопряженных трубок («Удачная-западная» и «Удачная-восточная»). Кимберлиты трубки представлены тремя разновидностями: кимберлитовой брекчией, слагающей западную половину трубки; кимберлитами базальтового облика, слагающими восточную половину трубки, и промежуточного между ними относительно узкого участка, породы которого представляют собой сильно измененную и разрыхленную кимберлитовую брекчию.

Кимберлиты базальтового облика трубки «Удачная-восточная» представляют собой плотную породу порфировидного

строения от темно-зеленого до черно-зеленого цвета. Обычны ксенолиты пород осадочного происхождения, ксенолиты кристаллических сланцев, змеевиков, перидотитов, эклогитов и эклогитоподобных пород. Размеры их варьируют от долей миллиметра до 10—30 см.

Породы, слагающие трубку «Удачная-западная», представляют собой брекчию с большим (до 80 %) содержанием ксенолитов разного происхождения.

Осветленные и рыхлые породы промежуточной зоны сильно изменены гидротермальными процессами, пронизаны густой сетью маломощных жил и прожилков с кальцитом и гипсом, в значительной степени ожелезнены, а местами пропитаны оксидами железа. На основании последних данных установлено существование двух самостоятельных трубок: западной и восточной, причем последняя более позднего образования. Промежуточный участок, разделяющий эти трубки, представляет собой зону тектонического нарушения, возникшую в краевой части трубки «Удачная-западная» при ее внедрении и впоследствии, в силу ее трещиноватости, измененную гидротермальными растворами.

В кимберлитах трубки «Удачная» развита столбчатая, а также шаровая и эллипсоидальная отдельности. Наряду с почти вертикальными и крутопадающими трещинами в кимберлитах прослеживаются пологопадающие трещины, которые приурочены к поверхности сочленения призматических отдельностей сопряженных столбов.

Трубка «Удачная» имеет столбообразную форму с углом падения около 90°. Изменчивость угла падения и азимута простирания является выдержанной в пределах месторождения. Трубка прослежена разведочными работами на глубину более 900 м.

Основным компонентом являются алмазы, вредными компонентами — тяжелые люминесцирующие минералы. Характер распределения алмазов весьма неравномерный. В настоящее время кимберлитовые руды разделены на четыре сорта. К первому сорту относятся руды, содержание в которых люминесцирующих минералов составляет менее 0,01 %. К второму и третьему сортам относятся руды, в которых содержание люминесцирующих минералов более 0,15 %. Различие между этими сортами руд заключается в вещественном составе содержащихся в них люминесцирующих минералов. Так сорт 2 содер-

жит преимущественно полевые шпаты, а сорт 3 — плагиоклазы кристаллических сланцев. К сорту 4 относятся руды с содержанием люминесцирующих минералов от 0,01 до 0,15 %.

Крепость руд по М. Протодяконову для кимберлитовых руд изменяется от 4 до 7, породы как висячего бока, так и лежащие имеют крепость 12. Руды и породы устойчивые. Средняя плотность руд в трубке «Удачная-восточная» 2,52 т/м³, а «Удачная-западная» 2,46 т/м³. Влажность руд 7 %. Средний коэффициент разрыхления 1,2.

Следует отметить, что кимберлиты слагающие трубку, трещиноваты. С трещиноватостью связано газопроявление, причем выделение газов происходит под напором. Газ выходит по трещинам с характерным шумом, а при запалке трещин мелко-обломочный материал (дресва, щебень) отбрасывается во все стороны. Химический анализ газа позволяет отнести его к метану с большим содержанием углекислого газа.

С пегматитовыми месторождениями связаны скопления многих видов камнесамоцветного сырья промышленного значения: топаза, берилла (аквамарина, воробьевита, гелиодора), турмалина, драгоценных разновидностей сподумена, горного хрусталя, цитрина, аметиста, мориона, розового кварца, иризирующих полевых шпатов, альмандина, амазонита, письменного гранита. Пегматиты являются также источником коллекционного сырья. Главную роль играют гранитные пегматиты, продуктивны также пегматиты щелочных пород и сиенитов. Пегматитовые месторождения камнесамоцветного сырья известны в СНГ на Украине, Урале, в Казахстане, а за рубежом — в Афганистане, США, на Мадагаскаре.

Гидротермальные месторождения служат источником аквамарина, топаза, горного хрусталя, и его окрашенных разновидностей — цитрина, мориона, аметиста (Урал). Низкотемпературные гидротермальные вулканогенные месторождения агата и халцедона связаны с эффузивными образованиями (порфиры, андезиты, кислые эффузивы). Крупные месторождения агата этого типа расположены в СНГ в Армении, Грузии, на Тимане, а также в Бразилии, Уругвае, Индии. К приповерхностным низкотемпературным гидротермальным относятся месторождения мраморного оникса, образующего пластовые залежи в известняках (Армения, Азербайджан), натечные агрегаты (Туркмения).

Контактово-метасоматическими являются месторождения изумруда (Урал, Индия, Зимбабве, ЮАР, Австралия — на кон-

такте гранитоидов и ультраосновных пород), лазурита (Забайкалье, Памир, Афганистан — на контакте карбонатных пород с дайками кислых пород и гнейсами), благородной шпинели и рубина (Мьянма, Таиланд, Шри-Ланка — магмезиальные скарны), нефрита и жадеита (Казахстан, Урал — на контакте ультраосновных пород с кислыми и средними), ювелирногоgrossуляра (Кения, Танзания — известковые скарны).

Метаморфогенные месторождения ювелирно-поделочных камней формируются на различных стадиях регионального и контактового метаморфизма горных пород. Месторождения яшмы представлены протяженными пластами и линзами, которые возникли при метаморфизме кремнистых вулканогенно-осадочных, органогенных и органогенно-хемогенных пород. Крупные месторождения яшмы известны на Среднем и Южном Урале (Оренбургская область), Алтае, в Забайкалье, а также в Австралии и США. Родонитовые месторождения образуются при метаморфизме вулканогенно-осадочных карбонатных отложений. Они развиты на Урале (Малоседейниковское и Кургановское) и в Средней Азии, а также — в Австралии, Испании, Великобритании, США, Мексике, на Мадагаскаре.

При средне- и высокотемпературном метаморфизме формируются слюдястые и кристаллические сланцы, гнейсы, которые содержат ювелирные разновидности алмандина (месторождение Китильское в Карелии), лунного камня, ювелирного полевого шпата, рубина и сапфира (Шри-Ланка). Ювелирный гематит (кровавик) находят в жилах альпийского типа, размещающихся среди железистых кварцитов. Месторождения гематита, пригодного для обработки, выявлены в Казахстане (западный Каражал, Большой Ктай), Бразилии, Канаде, Мексике, США.

Месторождения выветривания занимают важное место в балансе запасов камнесамоцветного сырья. Остаточные месторождения коры выветривания содержат промышленные скопления ювелирных камней, обладающих высокой твердостью и химической стойкостью — рубина, сапфира, циркона, граната, аметиста, агата. Месторождения этого типа широко распространены в странах тропического пояса — Индии, Шри-Ланке, Мьянме, Таиланде, Танзании, Австралии и др.

Инфильтрационные месторождения выветривания служат источником опала, хризопраза, малахита, бирюзы, селенита (волокнистого гипса). Месторождения благородного опала возни-

кают в ходе инфильтрационных процессов при выветривании песчано-глинистых пород; они приурочены к нижним частям каолиновых кор выветривания (Австралия). Хризопраз концентрируется в центральной и нижней частях коры выветривания серпентинизированных ультраосновных пород (Урал, Центральный Казахстан).

Месторождения малахита формируются в зонах окисления сульфидных медных руд, контактирующих с карбонатными породами. Таковы, например, месторождения Среднего Урала (Гумешевское, Нижне-Тагильское), Конго и Замбии. Месторождения бирюзы локализуются в корах выветривания горных пород, содержащих сульфиды меди и фосфаты. Высококачественное сырье связано с кислыми эффузивами, к которым приурочена минерализация медно-порфирового типа (Бирюзакан в СНГ, Иран, США). Месторождения бирюзы могут быть приурочены к осадочным фосфоритоносным породам (Кызылкумы в Туркмении).

Осадочные месторождения являются важным источником камнесамоцветного сырья. Наибольшее промышленное значение имеют россыпные месторождения, в процессе образования россыпей ювелирные и технические камни высвобождаются из крепких вмещающих пород, естественным путем обогащаются при транспортировке за счет скалывания и истирания дефектных (трещиноватых) частей и в благоприятных условиях концентрируются в рыхлых отложениях. Содержание цветных камней в россыпях в десятки и сотни раз выше, чем в коренных породах, в которых эти минералы относятся к аксессуарным.

Россыпи драгоценных и цветных камней легче отрабатываются и экономически более выгодны в эксплуатации по сравнению с коренными месторождениями. В настоящее время из россыпей добывается большая часть алмазов (Африка, Индия), практически весь рубин, сапфир, циркон и благородная шпинель (Таиланд, Австралия, Шри-Ланка), а также янтарь.

Они играют значительную роль в добыче топаза, изумруда, горного хрусталя (Бразилия, Мадагаскар), агата (Бразилия, Уругвай, Индия), нефрита (Канада, СНГ) и ряда других камней.

Алмазоносные россыпи по происхождению разделяются на элювиальные и делювиальные (в коре выветривания), пролювиальные, аллювиальные, прибрежно-морские и золотые. Наибольшее практическое значение для алмаза имеют аллювиальные и прибрежно-морские россыпи, которые разрабатываются

открытым способом при бортовых содержаниях 0,1—0,2 кар/м³. Во многих россыпях концентрация алмазов превышает десятки каратов на 1 м³ рыхлой породы.

Алловиальные россыпи по возрасту разделяются на древние и современные. Древние россыпи представлены отложениями палеорек — конгломератами, галечниками, гравелитами, грубозернистыми песчаниками. Они эксплуатируются только в Индии и ЮАР (Витватерсранд). Современные аллювиальные россыпи подразделяют на долинные, террасовые, пойменные и русловые. Нередко через ложковые и делювиальные россыпи они связаны с коренным источником. Аллювиальные россыпи известны в СНГ (бассейн р. Вилпой), ЮАР, Намибии, Гане, Анголе, Сьерра-Леоне, Индии, КНР, Бразилии, Венесуэле, Гайане, Австралии.

Прибрежно-морские россыпи (пляжные, террасовые, шельфовые) характеризуются значительной протяженностью (десятки километров) при небольшой ширине (сотни метров) и мощности (несколько метров), песчано-галечниковым составом. Они распространены на всем побережье Намибии.

4.2. ГРАФИТ

Общие сведения

Графит представляет собой чистый углерод, кристаллизующийся в гексагональной сингонии. Важнейшими свойствами его являются совершенная спайность в одном направлении, низкая твердость, высокая электро- и теплопроводность, высокая огнеупорность (температура плавления 3850 °C), химическая инертность, жирность и пластичность, высокие пигментные способности, гидрофобность.

Графит применяется в литейном деле для изготовления тиглей, противопригарных красок и присыпок, в электротехнической промышленности для производства гальванических элементов, щелочных аккумуляторов, электродов, скользящих контактов в электрических машинах, а также для изготовления смазочных материалов, антифрикционных изделий, втулок и вкладышей для подшипников, карандашей, черной копировальной бумаги, красок и др. Особо чистый графит используется как замедлитель при ядерных реакциях в атомных котлах, для изготовления деталей ракет, служит сырьем для получения искусственных алмазов.

Среди графитовых руд по структурным особенностям различают явнокристаллические, чешуйчатые и скрытокристаллические (аморфные). Руды первого типа, применяемые без обогащения, должны содержать 60—80 % графита. Чешуйчатые графиты, подлежащие обогащению, содержат не менее 6 % минерала. В аморфных рудах содержание графита изменяется от 70 % (без обогащения) до 15 % (при обогащении). По запасам графита (в млн т) месторождения разделяются на крупные (> 10), средние ($1—10$) и мелкие (< 1).

Мировые запасы графита оцениваются в 600 млн т. Крупными запасами аморфного графита располагают Мексика, Респ. Корея и Австрия, а кристаллического — Мадагаскар, Шри-Ланка, Индия, Швеция. Добыча графита в мире составляет более 650 тыс. т (около 10 % — чешуйчатый графит) и сосредоточена в СНГ, КНР, Респ. Корея, КНДР, Мексике, Австрии, Индии, Шри-Ланке, Германии, Бразилии.

На международном рынке цена 1 т чешуйчатого графита достигает 600 долл., аморфного — 140 долл.

Типы промышленных месторождений

Промышленные месторождения графита по генезису разделяются на магматические, пегматитовые, контактово-метаморфизованные и регионально-метаморфические, из которых метаморфогенные имеют наибольшее практическое значение.

Магматические месторождения связаны с интрузивными и эффузивными породами любого состава. Месторождения образовались в результате магматической кристаллизации полнокристаллического чешуйчатого графита. Графитовые тела имеют форму штоков, гнезд и жил с содержанием минерала до 85 %. Реже встречаются скопления рассеянного чешуйчатого графита. Месторождения этого типа сравнительно редки (Ботогольское в Восточной Сибири, Черемшанское и Миасское на Урале), США (Клей), Таиланде, Германии, Японии.

Пегматитовые месторождения представлены неправильными жильными телами кварц-графитового состава в гнейсах. Они характеризуются невысоким (3—5 %) содержанием минерала. Промышленное значение подобных месторождений велико. Они известны в СНГ, Бразилии, Индии, Канаде.

Метаморфогенные месторождения занимают ведущее место в запасах и добыче графита. Они формировались за счет концентрированного или рассеянного углеродного вещества, под-

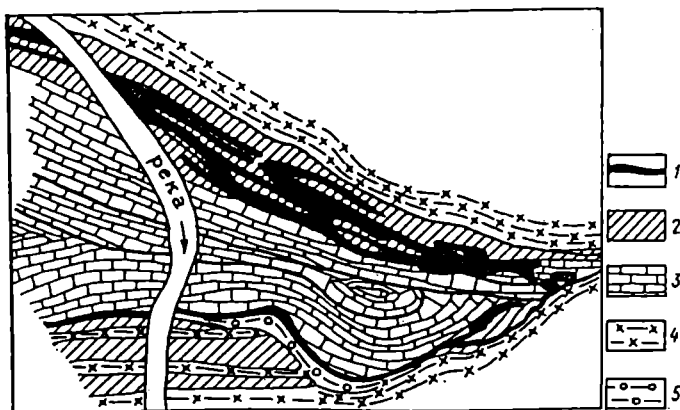


Рис. 4.1. Схематическая геологическая карта Завальевского месторождения (по А.Е. Еванциву):

1—2 — гнейсы: 1 — графитовые; 2 — безрудные; 3 — кристаллические известняки; 4 — граниты; 5 — мигматиты

вергшегося метаморфизму, и разделяются на два типа: контакто-метаморфизованные и регионально-метаморфические.

Метаморфизованные месторождения возникают при контактовом (термальном) метаморфизме пластов угля или горючих сланцев. Они являются главным источником скрытокристаллического графита. Месторождения имеют форму пластов и пластовых залежей, переходящих в каменные угли. Мощность пластов и площадь их распространения весьма значительны. Содержание графита достигает 70—85 %. Примерами месторождений этого типа является Ногинское и Курейское (Восточная Сибирь), Боевское (Урал), Аягузская группа (Казахстан). Месторождения подобного типа разрабатываются в Мексике, Респ. Корея, Австрия.

Курейское месторождение (см. рис. 2.13) в Красноярском крае сложено породами каменноугольного — пермского возраста (тунгусская серия). Графитовая залежь состоит из двух мощных пластов, подстилается и перекрывается пластовыми интрузиями долеритов. Верхний пласт графитовой залежи, служащий объектом отработки, имеет сложное строение — в нем наблюдаются слои графита различного качества. Содержание минеральных примесей в руде составляет 7—25 %.

Метаморфические месторождения, приуроченные к графитоносным гнейсам и кристаллическим сланцам, являются основным источником высококачественных чушайчатых графитовых руд. Месторождения образуются при графитизации органического вещества рассеянного в первично осадочной толще. Залежи — неправильные пласты и линзы графитовых вкрапленных руд — содержат от 2 до 30 % графита (редко до 60 %). Руды легко обогащаются. Разработка ведется обычно открытым способом. Крупные месторождения этого типа известны в СНГ (Завальевское на Украине, Тайгинское на Урале и Безымянное в Восточной Сибири), а также — в Индии, Мадагаскаре, Германии.

Завальевское месторождение (рис. 4.1) размещается в пределах крупной синклинальной складки, сложенной метаморфическими породами (амфиболовые и графитоносные гнейсы и кварциты), которые прорваны дайками гранитов. Мощность продуктивной толщи 15—250 м. Она состоит из одного-пяти графитоносных горизонтов мощностью от 3,5 до 70 м. Содержание графита 6—10 %.

4.3. СЛЮДЫ

Общие сведения

Из группы листовых алюмосиликатов, относимых к слюдам, промышленное значение имеют мусковит $K Al_2 (OH)_2 [Si_3 AlO_{10}]$ флогопит $K(Mg, Fe)_3 [Si_3 AlO_{10}] (OH, F)_2$ и вермикулит $(Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}) [(Si, Al)_4 O_{10}] (OH)_2 \cdot 4H_2O$.

Использование слюд в промышленности обусловлено их специфическими физическими свойствами: способностью расщепляться на тонкие, гибкие и прочные прозрачные пластинки, влагостойкостью, химической и термической стойкостью, высокими электроизоляционными свойствами.

Главными потребителями мусковита и флогопита являются электро- и радиотехническая отрасли промышленности (изоляторы, диэлектрики, защитные прокладки). Кроме того, эти минералы применяются при изготовлении мягких кровельных материалов, обоев, особых сортов бумаги и ряда других изделий, которым добавки слюд придают водо- и огнестойкость, декоративные свойства.

Вермикулит обладает способностью вспучиваться при обжиге (при $t = 900—1000^\circ C$ с увеличением объема в 20—30 раз.

Обожженный вермикулит характеризуется малой плотностью, повышенной огнеупорностью, высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами. Благодаря названным свойствам вермикулит используется в качестве мягкого наполнителя в производстве бетона, огнестойких, тепло- и звукоизоляционных стен и перегородок.

Сырьем для промышленности служат листовая, а также мелкочешуйчатая и молотая слюда. При оценке качества мусковита и флогопита ведущими показателями являются размер кристаллов, наличие дефектов (трещиноватость, минеральные включения и др.), особенности химического состава. Для вермикулита к главным показателям качества относится плотность прокаленного минерала, тогда как размер кристаллов значения не имеет.

При производстве листовой слюды получают забойный сырец — кристаллы с площадью пластин более 4 см^2 , из которых затем выделяют промышленный сырец — отсортированные бездефектные сколотые по слойности кристаллы, которые делятся на четыре сорта в зависимости от размера пластин (в см^2): 4—25, 25—50, 50—100 и более 100. Кондиции по содержанию промышленного сырца составляют в среднем для мусковита первые десятки, для флогопита десятки и сотни килограммов на 1 м^3 горной массы. Крупными считаются месторождения с запасами (в тыс. т) слюды более 10, средними — от 1 до 10, мелкими — менее 1.

За рубежом наиболее крупные запасы мусковита (около 20 млн т) сосредоточены в Индии; суммарные запасы в других странах — Бразилии, ЮАР, Австралии, Норвегии, Швеции — около 10—15 млн т. Основные запасы флогопита — 600 тыс. т выявлены на Мадагаскаре.

Мировая добыча (без стран СНГ) листового мусковита и флогопита составляет 18—22 тыс. т в год, а с учетом мелкочешуйчатой и молотой слюды — 175—195 тыс. т. Основную часть листового мусковита получают в Индии, Бразилии, ЮАР, Аргентине, а мелкочешуйчатого — в США и Индии, флогопит добывается в Канаде, КНДР и на Мадагаскаре. Мировое производство вермикулита превышает 300 тыс. т (США, ЮАР). Страны СНГ занимают первое место в мире по запасам слюд.

Цена на слюду на мировом рынке колеблется в широких пределах. В настоящее время стоимость 1 кг листовой слюды в блоках варьирует от 2 до 7 долл.

Типы промышленных месторождений

Среди месторождений мусковита и флогопита основное значение имеют магматический (карбонатитовый) и пегматитовый типы, второстепенное — гидротермальный.

Месторождения вермикулита генетически связаны со скоплениями магнезиально-железистых слюд — флогопита и биотита и образуются при их гидратации гидротермальными растворами и в коре выветривания.

Магматические месторождения флогопита приурочены к карбонатитовым комплексам, ассоциирующим с интрузивными массивами пород щелочно-ультраосновного состава на платформах. Штокообразные тела и дайки флогопитоносных карбонатитов формируются на завершающей стадии становления интрузивов. Флогопит возникает при воздействии щелочных растворов на магнезиальные породы. Он отмечается в виде неравномерной вкрапленности, слагает гнезда, жилкообразные тела в оливиновых и пироксеновых породах. Месторождения данного типа известны в Восточной Сибири, на Кольском п-ове (Ковдорское), а за рубежом — в ЮАР (Палабора).

Пегматитовые месторождения являются единственным источником листового мусковита. Они располагаются в пределах щитов древних платформ. Пегматитовые тела имеют размеры по простиранию и падению от первых десятков до сотен метров (иногда километров) при мощности от долей до десяти метров. Форма тел — плитообразные жилы, неправильные штоки, линзовидные и сложные залежи. Внутреннее строение их сложное. Мусковит может быть равномерно рассеянным, иногда распределен зонально или образует гнездовые скопления. Пегматитовые месторождения в большинстве случаев комплексные; попутно извлекаются также кварц, полевой шпат и графический пегматит. Крупные месторождения этого типа находятся в Восточной Сибири (Мамско-Чуйский район), Карелии (Чупино-Лоухская группа), на Кольском п-ове (Енское, Стрельнинское), в Индии, Бразилии, Австралии, ЮАР.

Горно-геологические условия месторождений слюды

Ковдорское месторождение расположено на Кольском полуострове и локализуется в пределах сложного массива щелочных — ультраосновных пород, прорывающего гранитогнейсы архейского возраста. Флогопит встречается почти во всех породах массива. Наибольшее его содержание (от 50 до 1000 кг/м³)

при сравнительно низком качестве отмечается в гигантозернистых метасоматических образованиях на контакте оливинитов с пироксенитами (см. рис. 3.2 и «горно-геологические условия» в разделе «железо» — «Ковдорское месторождение»). Крупнейшие запасы вермикулита сосредоточены в коре выветривания месторождения.

Мамско-Чуйская сплюснутая провинция гранитных пегматитов располагается на севере Иркутской области и включает ряд месторождений: Чуйское, Согдиондон, Луговское, Колотовское, Витимское и др. Они сосредоточены в полосе шириной 20 км и протяженностью около 150 км от крутого изгиба р. Б. Чуй на юго-западе до верховьев р. Б. Патом на северо-востоке. Эта полоса представляет собой сложный синклиниорий, имеющий северо-восточное простирание и сложенный верхнепротерозойскими отложениями, метаморфизованными в условиях амфиболитовой фации регионального метаморфизма. Смежные антиклинальные структуры сложены гранито-гнейсами, мигматитами и гранитами Чуйского (на северо-западе) и Верхнемамского (на юго-востоке) массивов.

Метаморфическая толща Мамско-Чуйского района расчленяется на мамскую и бодайбинскую серии. Мамская серия подразделяется на 4 свиты — Витимскую, Слюдянскую, Согдиондонскую и Кенкузерскую.

Мамская серия является «продуктивной толщей» вмещающей сплюснутые пегматиты. В ее разрезе наблюдается тонкое ритмическое переслаивание кварцитов, биотитовых, биотит-мусковитовых, гранат-слюдяных, дистен-гранат-слюдяных плагиогнейсов и сланцев с графитовыми сланцами и известково-силикатными кристаллическими породами (скарноидами) и мраморами.

Тела мусковитоносных пегматитов наблюдаются в наиболее механически анизотропных литолого-стратиграфических горизонтах мамской толщи и характеризуются крайней неравномерностью пространственного размещения. Они локализованы в наиболее дислоцированных участках толщи, — а именно, в областях поперечных изгибов линейных складок, в надразломных флексурах или в иных участках изменения ориентировки осей складок главного северо-восточного направления. Такие «кусты» или серии пегматитовых тел составляют отдельные месторождения.

Жильные пегматитовые тела по морфологии весьма разнообразны и по положению в пространстве разделяются на со-

гласные, секущие и комбинированные. Среди большой группы согласных пегматитовых тел выделяются плитообразные, линзовидные, реже седловидные жилы. Секущие же жилы в зависимости от положения в локальной структуре разделяются на продольно- и диагонально-секущие. Их разновидностью являются трубообразные тела (рис. 4.2).

Широко распространены морфологически сложные комбинированные жилы — секущие жилы с согласными апофизами; седловидные жилы, соединенные секущими проводниками, грибообразные тела и др.

Для плодоносных пегматитов характерны гипидиоморфно-зернистые или гранитовидные (мелко-средне-крупнозернистые,

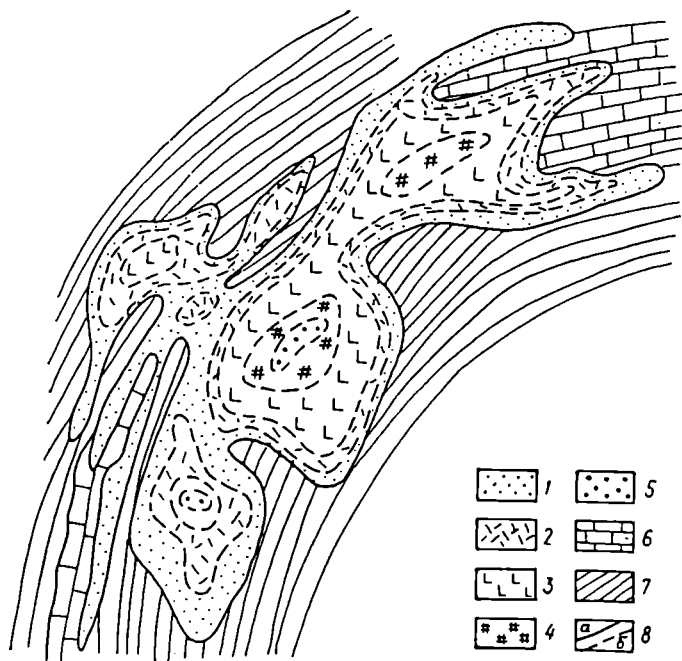


Рис. 4.2. Схематическая геологическая карта пегматитовой жилы (по А.Г. Бушеву и О.В. Казадаевой):

1—3 — пегматит: 1 — мелкозернистый гранитовидный, 2 — крупнозернистый, 3 — графический; 4 — блоковый плагиоклаз; 5 — кварцевое ядро; 6 — известково-силикатные кристаллические породы (скарнонды); 7 — биотитовые гнейсы; 8 — контакты пегматитового тела (а) и границы минеральных зон (б)

графические (письменные) и блоковые (пегматоидные) структуры. Из текстур наиболее распространены массивные. Кроме того, встречаются тела участкового, участково-зонального и зонального строения. Среди последних выделяются симметрично-зональные и ассиметрично-зональные.

Главными пороодообразующими минералами пегматитов являются плагиоклаз (олигоклаз), микроклин, кварц, биотит, мусковит. Второстепенными — черный турмалин, гранат, апатит, сульфиды. Акцессорные минералы представлены бериллом, колумбитом, ортитом, магнетитом, цирконом, рутилом и др.

По соотношению плагиоклаза и микроклина пегматиты подразделяются на плагиоклазовые, плагиоклаз-микроклиновые и микроклиновые. В блоковых разновидностях пегматитов кварц нередко образует крупные мономинеральные обособления, корродирующие блоки полевых шпатов. Именно в таких участках локализуется так называемый «пегматоидный мусковит» — крупнокристаллический клиновидный мусковит I, имеющий размеры кристаллов от нескольких десятков сантиметров до 1—1,5 м по диаметру пластин.

Содержание мусковита в подобных участках и зонах достигает 100—300 кг/м³. Основные дефекты «пегматоидного мусковита» — это ельчатая структура, ленточная трещиноватость, зональное строение кристаллов, наличие мелких включений биотита, сульфидов, магнетита, гидрооксидов железа и др.

Следующая генерация мусковита — (мусковит II) возникла в процессе формирования кварц-мусковитового комплекса, развивающегося вдоль контактовых зон пегматитовых тел, либо в виде гнезд в центральных их частях. Размеры мусковита II редко превышают 15—20 см. Содержание его обычно варьирует от 5 до 30 кг/м³. Для кристаллов этой генерации характерна пластинчатая форма, отсутствие ельчатой структуры, равномерность окраски. Эти качества делают мусковит II ведущим сырьем месторождения. Наиболее распространенным дефектом этой модификации мусковита является наличие вкрапленников биотита, включения кристаллов апатита, циркона, магнетита, рутила и др.

Промышленная ценность пегматитов повышается в связи с возможностью извлечения полевых шпатов как керамического сырья.

На месторождениях Мамско-Чуйской провинции в зависимости от условий залегания выделяются (сверху вниз) трещинно-грунтовые и трещинно-жильные воды. Трещинно-грунтовые подземные воды связаны со значительно развитыми трещинами пород в зонах дезинтеграции и коры выветривания. Эта зона имеет площадное распространение и мощность до 30 м. Главные источники питания трещинно-грунтовых вод — талые воды и атмосферные осадки. Водоприток в горные выработки, расположенные в этой зоне, сильно зависит от времени года. Весной он может достигать 1—2 л/с, а зимой проявляется в виде капежа.

Зоны трещинно-жильных вод имеют линейно-вытянутое распространение. Глубины залегания достигают 150 м. Область питания находится в зоне сочленения с корой выветривания. Воды напорные. Проявляются в виде фонтанирующих струек по стенкам горных выработок. Водоприток колеблется в широких пределах от 0,2 до 1,5 л/с.

По химическому составу воды зон в основном гидрокарбонатно-натриевые или гидрокарбонатно-кальциевые с минерализацией до 0,5 г/л.

Вмещающие породы и пегматиты Мамско-Чуйского района имеют следующие физико-механические свойства: кварциты — средняя плотность 2,5 т/м³, пористость 2 %, предел прочности на сжатие 198 МПа, модуль Юнга $15 \cdot 10^{-6}$ МПа; гнейсы биотитовые (соответственно) — 2,33—2,9, 1—10, 500—800, 0,61— $0,87 \cdot 10^{-6}$ гнейсы двуслодные — 2,6—2,7, 3,5—8, 500—900, $1—7 \cdot 10^{-6}$; граниты — 2,4—2,7, 1—5, 500—1300, $2—9,5 \cdot 10^{-6}$; мигматиты — 2,5—2,7, 5—10, 500—800, $1—8 \cdot 10^{-6}$; пегматиты неизмененные — 2,4—2,8, 1—6, 300—700, $8—9 \cdot 10^{-6}$; пегматиты измененные — 2,4—2,6, 7—19, 115—330, $3,7—8,9 \cdot 10^{-6}$.

4.4. АСБЕСТ

Общие сведения

К асбестам относятся силикаты, способные легко расщепляться на тонкие прочные волокна. Их разделяют на две группы: серпентин (хризотил)-асбесты и амфибол-асбесты. Наиболее широко используется в промышленности хризотил-асбест с формулой $(\text{Mg, Fe})_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$. Он обладает ярко выраженной волокнистой структурой и высокой прочностью волокон

на разрыв. Теплоустойчивость хризотил-асбеста достигает 700 °С. Минерал щелочеупорен, но легко разлагается кислотами.

Амфибол-асбесты — магнезиально-железистые и щелочные гидросиликаты. К ним принадлежат крокидолит-, антофиллит-, амозит-, актинолит- и тремолит-асбесты и др. Они имеют несколько худшие, чем у хризотил-асбестов, прочностные характеристики и огнеупорность, но отличаются высокой кислото- и щелочестойкостью, значительной сорбционной способностью.

Главными свойствами асбестовых минералов, определяющих их промышленное значение, являются длина волокна, эластичность, прочность, диэлектрические свойства, химическая стойкость при воздействии кислот и щелочей, огнеупорность. Хризотил-асбесты применяются для изготовления асбестовых текстильных материалов и асбоцементных изделий, для производства асборезиновых листов, термоизоляционных материалов, асбоваты. Амфибол-асбесты используются, кроме того, для получения изделий с кислото- и щелочеупорными свойствами, хорошей сопротивляемостью действию морской воды, высокой сорбционной способностью, а также для изготовления асбесто-красок.

Требованиями к качеству асбестов регламентируются длина волокна (текстильное — более 0,2 мм), его механическая прочность, текстурные особенности, химический состав (магнезиальные разновидности предпочтительнее), наличие включений вмещающей породы и посторонних минералов. По комплексу этих признаков товарный асбест разделяется на восемь групп и 42 марки. Содержание асбеста в рудах должно быть не менее 0,5 %; обычно разрабатываются месторождения с содержанием от 1 до 3 %. Крупными считаются месторождения хризотил-асбеста с запасами волокна более 5 млн т, средними — 0,5—5, мелкими — менее 0,5 млн т. Запас месторождений амфибол-асбестов примерно в 100 раз меньше.

Запасы асбеста за рубежом составляют около 80 млн т (в т. ч. около 2,5 млн т амфибол-асбеста). Крупные запасы хризотил-асбеста сосредоточены в Канаде, Зимбабве, Бразилии, США, Австралии, а амфибол-асбеста — в ЮАР и Австралии. Ежегодно в мире добывается около 5 млн т асбестов, в т. ч. в СНГ — около 2,5 млн т (первое место). Добыча асбеста в существенных размерах ведется в Канаде, ЮАР, КНР, Бразилии, Италии, США. Цена хризотил-асбеста колеблется от 300 до 1200 долл. за 1 т.

Типы промышленных месторождений

Месторождения хризотил-асбеста генетически и пространственно связаны с серпентинитами, образующимися при гидротермальной переработке ультраосновных пород или при метасоматических процессах на контакте с осадочными магнезиально-карбонатными породами.

Гидротермальные плутогенные асбестовые месторождения приурочены к массивам серпентинизированных ультраосновных пород (перидотитов). В пределах месторождений обычно присутствуют несколько асбестовых залежей линзовидной и эллипсоидальной формы, большой мощности (до 400 м) и значительной протяженности (до 3 км); глубина их распространения составляет несколько сотен метров. Залежи имеют обычно зональное строение.

В составе залежи по морфологии и внутреннему строению выделяют четыре типа жил (рис. 4.3): 1) простые отороченные с длиной волокна более 20 мм и низким (0,5—2 %) содержанием; 2) сложные отороченные с повышенным общим содержанием (до 12 %), но дающие мало длинного волокна; 3) типа крупной и мелкой сетки с содержанием асбеста от 3 до 8 %; 4) мелкопрожилковые с коротким волокном, количество которого варьирует от 1 до 10 %.

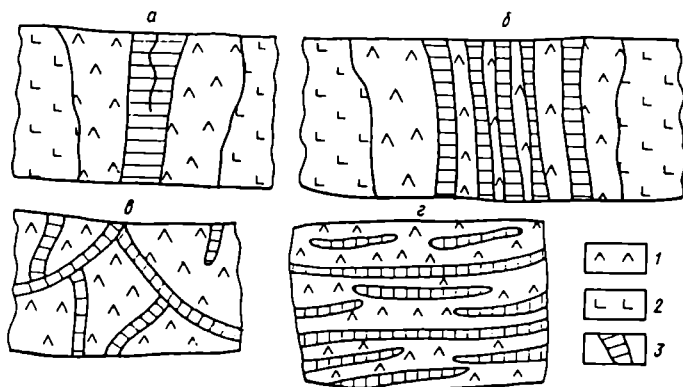


Рис. 4.3. Некоторые типы жил хризотил-асбеста:

а — простая отороченная (в центре жилы видна просечка), *б* — сложная отороченная, *в* — типа мелкой сетки, *г* — мелкопрожилковые; 1 — гарцбургит; 2 — серпентинит; 3 — хризотил-асбест

Примерами месторождений асбеста данного типа являются Баженовское, Алапаевское, Джетыгаринское (Урал), Актовракское (Тыва), Молодежное (Забайкалье). Подобные месторождения известны в Канаде (Джеффри, Блейк-Дейк), Зимбабве (Шабани, Машаба), ЮАР (Нью-Амиантус). Гидротермальные месторождения содержат 95,5 % мировых запасов и обеспечивают 95 % добычи товарного асбеста.

Скарновым месторождениям в магнезиальных карбонатных породах (магнезитах и доломитах) свойственны относительно небольшие запасы волокна. Асбест поперечно-волокнистый маложелезистый. Формы залежей в основном линзо- и жиллообразные. Залежи часто располагаются вблизи контактов с интрузивными породами различного состава — от кислого до основного. Месторождения этого типа находятся в Сибири (Аспагаш), Киргизии (Укок), в КНР, ЮАР, США, Канаде.

Горно-геологические условия месторождений асбеста

Баженовский асбестоносный район находится на восточном склоне Среднего Урала в Свердловской области. В настоящее время район включает свыше 20 промышленных месторождений хризотил-асбеста.

Месторождения района приурочены к массиву ультраосновных пород, имеющему форму сложной линзы длиной около 28 км и шириной от 1 до 4 км. Линза имеет меридиональное простирание и круто падает на запад. Центральная и южная части массива сложены перидотитами, северная — преимущественно пироксенитами. Висячем боку ультраосновные породы сменяются массивом габбро. На востоке и юге массив находится в контакте с более молодым гранитным массивом. Перидотиты, пироксениты и габбро пересечены многочисленными дайками пород (микрогаббро, порфириды, диабазы, пироксениты), как правило, маломощными и короткими (рис. 4.4).

Массив ультраосновных пород разбит серией тектонических разломов на отдельные блоки. Выделяют три системы разломов: меридиональные крутопадающие протяженностью до 10—12 км; широтные и диагональные крутопадающие (локализованные между двумя соседними меридиональными) и меридиональные горизонтальные и пологопадающие.

Гидротермальными процессами перидотиты и реже пироксениты в значительной степени преобразованы в серпентиниты,

тальк — в карбонатные, кварц — в карбонатные и другие породы. Серпентиниты образуют полосы вдоль разломов в перидотитовой части интрузии. Особенно широко они распространены в центральной части района, где перидотиты сохранились в виде отдельных блоков эллипсоидальной формы, окаймленных со всех сторон серпентинитами.

Рудные тела линзо- и трубообразной формы залегают в гипербазитах между крупными тектоническими нарушениями и имеют зональное или концентрически-зональное строение с асбестоносностью нескольких типов: просечек, мелкой и крупной сеток, простых и сложных оторочек жил. Отдельные рудные тела иногда сложены серпентинитами с одним или двумя типами асбестоносности.

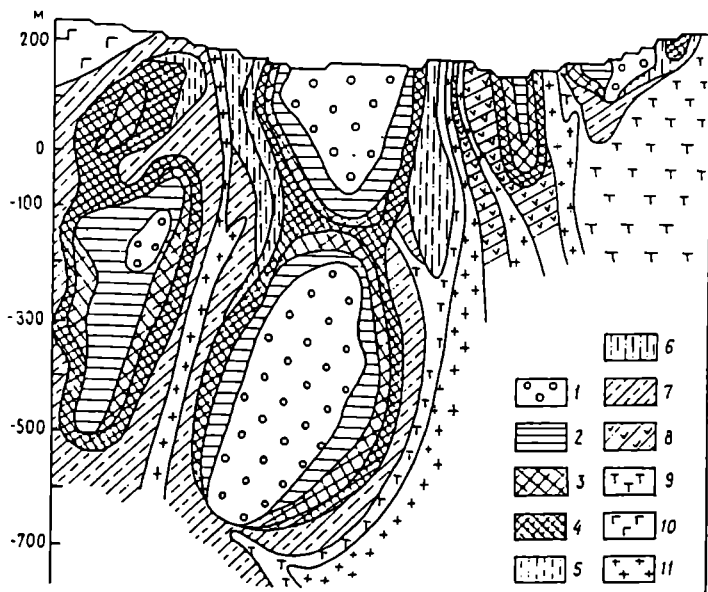


Рис. 4.4. Геологический разрез Центрального участка Баженовского месторождения (по И. Ф. Романовичу и др.):

1—2 — перидотиты: 1 — безрудные, 2 — с отороченными жилами асбеста; 3 — перидотиты и серпентиниты с крупной сеткой жил асбеста; 4—8 — серпентиниты: 4 — с мелкой сеткой жил асбеста, 5 — с мелкопрожилком, 6 — с просечками асбеста и единичными жилами, 7 — рассланцованные с асбестом, 8 — рассланцованные; 9 — оталькованные серпентиниты, тальковые, тальк-карбонатные, тальк-хлоритовые породы; 10 — габбро; 11 — дайки диоритов, диорит-аплитов, кварцевых порфиров, гранодиоритов

Асбестоносные залежи вытянуты в меридиональном направлении в соответствии с ориентировкой наиболее развитых разломов. Мощности залежей варьируют от 20 до 200 м, в среднем составляя 50 м. Протяженность залежей также различна и для наиболее крупных достигает 1000—1200 м. Ряд залежей почти непрерывной полосой прослеживаются на протяжении более 11 км. В пределах этой полосы границы между залежами устанавливаются лишь по особенностям их внутреннего строения и по положению разломов.

Глубина распространения залежей, выходящих на дневную поверхность, достигает 600 м. В ряде случаев под приповерхностными залежами скважинами пересечены «слепые» залежи второго яруса, отделенные от верхних залежей лишь горизонтальными и пологопадающими разломами, а также оталькованными и рассланцованными серпентинитами.

Полосы — залежи зонального строения, развитые вдоль разломов разных систем, сопряжены между собой и окаймляют перидотитовые блоки, как с боков, так и снизу, образуя тела эллипсоидальной формы и концентрически-зонального строения, т.е. в центре эллипсоида — перидотитовый блок, а по периферии асбестоносные зоны.

Промышленная асбестоносность представлена в основном мелкосетчатыми рудами, крупной сеткой и отороченными жилами. Наиболее длинное волокно асбеста первых трех сортов содержится в рудах простых и сложных отороченных жил и крупной сетки, но количество его редко превышает 8 %. Мелкосетчатые и мелкопрожилые руды значительно богаче по содержанию. Асбеста в них содержится 5—10 %, достигая 30 % (отдельные участки месторождения), по длине волокна в них преобладают низкие сорта асбеста.

В парагенезисе с хризотил-асбестом находятся: породообразующий хризотил, антигорит, серпофит, карбонаты (кальцит, арагонит, магнезит, доломит и др.), хромит, магнетит, тальк.

Зональность асбестовых залежей Баженовского месторождения. Во внутренней зоне залежей наблюдаются простые отороченные жилы асбеста. Они возникали на месте тончайших трещин и сложены чистым поперечно-волокнуистым хризотил-асбестом. Простые отороченные жилы содержат асбестовое волокно наибольшей длины (до 60 мм, в отдельных случаях до 160 мм), но содержание асбеста в руде не велико (0,5—2 %).

Далее к периферии встречаются сложные отороченные жилы (иногда совместно с простыми, описанными выше). Они

представлены сериями параллельных друг другу жилок асбеста, разделенных промежутками массивного хризотилового серпентинита. Зоны подобных жил содержат меньше длинного волокна, чем зоны простых отороченных жил, но общее содержание асбеста в рудной массе достигает 10 %. Руды зон с отороченными жилами — основной источник хризотил-асбеста высших товарных групп.

Затем следуют зоны развития жил «крупной сетки», которые состоят из серии относительно коротких беспорядочно ориентированных жилок асбеста, причем в достаточно крупных (0,5—1 м) междужильных блоках сохранились небольшие участки гипербазита. Длина волокна этого типа 8—15 мм, иногда до 25 мм, содержание асбеста в рудной массе 3—8 %, в наиболее богатых участках до 12 %. Руды зон «крупной сетки» — основные источники получения 3—5-й групп товарного асбеста.

Ближе к периферии залежей — «мелкая сетка» жил асбеста в нацело серпентизированных участках ультраосновной породы. Размеры междужильных блоков составляют 10—50 см. Из таких руд добывают волокно средней длины (5—8 мм) при содержании асбеста в рудной массе 2,5—3 %.

И далее «мелкопрожил» — серия параллельных жилок асбеста незначительной и примерно одинаковой мощности от 1 до 5 мм. Содержание волокна в руде изменяется от 2 до 30 % (среднее 5—10 %).

Завершают зональное строение просечки и единичные жилы асбеста мощностью до 4 мм. Промышленного значения последние две зоны не имеют.

Образование месторождения связано с воздействием на ультраосновные породы гидротермальных растворов, источником которых была гранитная интрузия.

Баженовский асбестовый район разрабатывается с 1886 г. Эксплуатация ведется открытыми работами. Баженовское месторождение по запасам и насыщенности асбестом является одним из крупнейших в мире.

4.5. ТАЛЬК

Общие сведения

Тальк — гидросиликат магнезия с химической формулой $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$. Близок ему по составу и структуре пирофиллит $Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2$, который в запасах и добыче учитывается вме-

сте с тальком. Важнейшие свойства этих минералов — высокая белизна в порошке, жирность, мягкость, химическая инертность, способность хорошо размалываться, гидрофобность (несмачиваемость водой), огнеупорность, диэлектрические свойства, сорбционная способность. Эти характеристики обуславливают широкое использование талька и пирофиллита в бумажной, лакокрасочной, резиновой, керамической химической (ядохимикаты), кондитерской, парфюмерной и фармацевтической отраслях промышленности, в литейном деле (припудривание литейных форм).

Требования промышленности к тальковому сырью зависят от направлений его использования. Применение в пищевой и парфюмерной промышленности лимитирует содержание мышьяка (до 0,0014 %), в кабельной — меди и марганца, в керамической — железа. В зависимости от содержания талька выделяют талькиты (более 75 % талька) и тальковые камни (45—75 %), в свою очередь подразделяющиеся на тальк-магнезитовые, тальк-хлоритовые и тальк-доломитовые разности. Добыча талькита ведется открытым и подземным способами, тальковых камней — только открытым способом с распиловкой породы в забое на плиты и последующей переработкой отходов. По запасам талька (в млн т) различают крупные (> 5), средние (5—0,5) и мелкие ($< 0,5$) месторождения.

Мировые запасы талька и талькового камня превышают 500 млн т. Они сосредоточены преимущественно в СНГ, США, Японии, Респ. Корея.

В СНГ около 72 % запасов талькового сырья содержится в четырех крупных месторождениях Сибири — Алтуйском, Киргитейском, Светлый Ключ и Онотском. Мировая добыча талька достигла 6 млн т. Она ведется в Японии (2 млн т), США (1 млн т), СНГ, а также в Респ. Корея, КНР, Франции, Италии, Испании, Индии. Цена на тальк в зависимости от его качества изменяется от 3 до 110 долл. за 1 т.

Типы промышленных месторождений

Промышленное значение имеют три генетических типа месторождений талька и талькового камня: гидротермальные, метаморфогенные и остаточные выветривания.

Гидротермальные месторождения талька могут быть связаны с ультраосновными магматическими и магнезиально-карбонатными осадочными породами. Они образуются в про-

цессе серпентинизации и хлоритизации пород и последующего их оталькования. Залежи талькитов имеют линзо- и жилкообразную форму; протяженность их от 80 до 500 м при мощности от 2—3 до 10—40 м. Залежи тальковых камней при той же морфологии отличаются более значительными размерами — длина 3—4 км, мощность до 250 м. К гидротермальным относятся уже упомянутые тальковые месторождения Сибири, а также Урала и Казахстана. За рубежом подобные месторождения известны в США, Франции, Италии, КНР, Респ. Корея, Японии (пирофиллит).

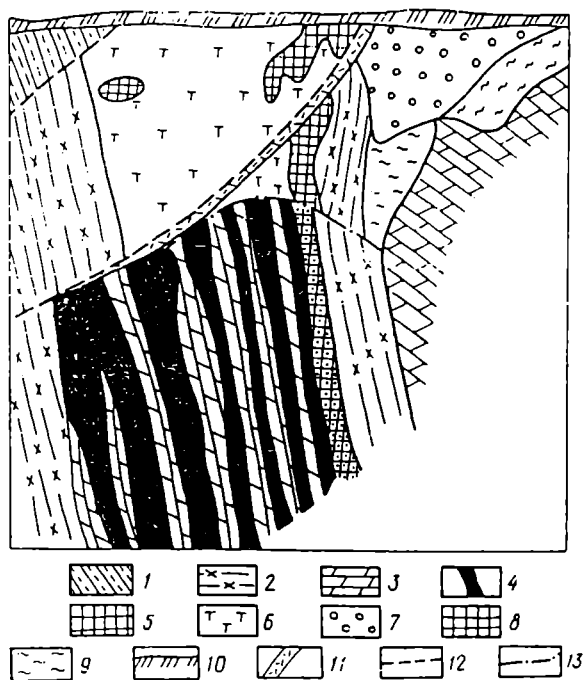


Рис. 4.5. Схематический геологический разрез Киргитейского месторождения (по А.В. Кириченко):

1—2 — сланцы: 1 — глинистые, 2 — хлоритовые; 3 — доломиты; 4 — плотные талькиты; 5 — кварциты; 6 — элювиальные порошковые талькиты; 7 — бокситы; 8 — маршаллиты; 9 — глины; 10 — делювиальные отложения; 11 — брекчированные породы; 12 — тектонические разрывные нарушения; 13 — нижняя граница коры выветривания

Киргитейское месторождение на Енисейском кряже приурочено к слабо метаморфизованной толще пород различного состава. Тела талькистов тяготеют к меридиональной зоне разломов, проходящих вдоль оси синклинальной складки. Месторождение по существу представлено единой крутопадающей залежью длиной более 800 м и мощностью свыше 100 м. До глубины 150 м развита кора выветривания, ниже — плотные талькиты (рис. 4.5).

Метаморфогенные месторождения талька и талькового камня возникают при региональном метаморфизме ультраосновных пород, реже — глинистых сланцев и кварцитов. Залежи — пластообразные тела, линзы и жилы — протягиваются на расстояние до 4 км при мощности 40—70 м. Крупные месторождения этого типа расположены на Урале (Шабровское), а за рубежом — в КНДР, КНР, Респ. Корея.

На *остаточных месторождениях* талька развиты порошковые руды, формирующиеся в зонах выветривания коренных месторождений различного генезиса. Руды отличаются высоким качеством. Мощность коры выветривания достигает 250 м.

4.6. ФЛЮОРИТ

Общие сведения

Флюорит (плавиковый шпат) по химическому составу представляет собой фтористый кальций CaF_2 . Используется он как сырье для получения плавиковой кислоты и других соединений фтора, в т. ч. искусственного криолита, необходимого в производстве алюминия. В металлургической промышленности флюорит применяется в качестве флюса для снижения температуры плавления и разжижения шлаков; в стекольной промышленности флюорит ускоряет варку стекла и увеличивает его прозрачность, стеклам и эмалям он придает молочно-белый цвет или опалесцирующий эффект. В качестве оптического флюорита рассматриваются прозрачные бездефектные кристаллы размером не менее 6×6×6 мм.

Общих требований к плавикошпатовому сырью не существует, их определяет каждый потребитель. Как правило, разрабатываются руды с содержанием флюорита не менее 30 %, которые требуют обогащения. В настоящее время в эксплуатацию вовлекаются месторождения и с менее богатыми рудами (более

14 % флюорита). Крупными считаются месторождения с запасами флюорита более 1 млн т, средними — 1—0,1, мелкими — менее 0,1 млн т.

Промышленные месторождения плавикового шпата известны в 27 странах. Общие запасы их руд с содержанием флюорита не менее 35 % оцениваются в 160 млн т. Крупными запасами располагают ЮАР, США, Мексика, Таиланд, Италия, Канада, Испания, Франция, КНР. Мировая добыча флюорита составляет 2,5 млн т. в год. Ведущими странами по его производству являются Мексика, Франция, Испания, Таиланд, Италия, ЮАР, США, Канада. СНГ располагает надежной сырьевой базой флюорита и постоянно наращивает его добычу. Цена флюорита на мировом рынке варьирует от 100 до 170 долл. за 1 т.

Типы промышленных месторождений

Флюорит образуется в различных геологических условиях. Практически значимыми являются пегматитовые (оптический флюорит), гидротермальные и отчасти осадочные месторождения, в капиталистических и развивающихся странах главную роль играют среди них гидротермальные (более 70 % запасов) и пегматитовые (около 25 % запасов).

Пегматитовые тела, залегающие среди гранитов и вмещающих осадочных пород, имеют неправильную и трубообразную форму. Пегматиты зональные, камерного типа, кроме флюорита содержат горный хрусталь, жильный кварц. Месторождения данного типа известны в Казахстане.

Гидротермальные месторождения флюорита разделяют на высокотемпературные, размещающиеся на контакте с материнскими гранитными массивами, среднетемпературные, локализующиеся вблизи интрузивов и низкотемпературные, удаленные от них на несколько километров. Вмещающие породы в зависимости от состава подвергаются грейзенизации или скарнированию. По морфологии различают пластообразные залежи, линзы, карманы и жилы различной формы. Наиболее сложная форма присуща залежам плавикового шпата в известняках. Жильные тела отличаются наиболее крупными размерами: длина их по простиранию достигает 1 км, по падению — нескольких сотен метров при мощности до нескольких метров.

Примерами гидротермальных месторождений являются Абагатуйское, Калангуйское, Даринское в Забайкалье, Аурах-

матское, Такобское и Хайдарскан в Средней Азии. Подобные месторождения известны в США, Мексике, Канаде, Испании, Франции, Италии.

Калангуйское месторождение расположено в песчаниках, углистых и глинистых сланцах. Гранитоидные интрузии, считающиеся материнскими, находятся в 1—2 км к северу и востоку от рудного поля. Флюоритовое оруденение контролируется мощной зоной разлома шириной от 0,5 до 20 м и протяженностью более 1 км. Флюоритовая жила имеет среднюю мощность 1,5 м, а в раздувах до 6—7 м. С глубиной мощность ее уменьшается. Содержание флюорита колеблется от 60 до 95 %.

4.7. МАГНЕЗИТ И БРУСИТ

Общие сведения

Магнезит — карбонат магния $MgCO_3$ — встречается в виде кристаллических агрегатов и аморфных масс. Брусит — гидроксид магния $Mg(OH)_2$ — образует почти мономинеральные листоватые, волокнистые и зернистые агрегаты, называемые брусититами. Магнезиты и брусититы используются в промышленности в основном в виде продуктов термической обработки и реже в естественном виде. Главные производные термической обработки этих руд — каустический магнезит и искусственный периклаз. Для изготовления этой продукции больший интерес представляют брусититы, хотя магнезиты преобладают в балансе запасов и добычи.

Каустический магнезит служит основой магнезильного цемента, применяемого при производстве различных строительных, отделочных, термо- и звукоизоляционных материалов, огнестойких красок. Искусственный периклаз (MgO) является ценным огнеупором, используется для получения огнеупорных кирпичей, магнезитовых стаканов и вкладышей для сталелитейного, сернокислотного и цементного производства.

Требования к качеству магнезита и брусита устанавливаются техническими условиями и стандартами, в которых определяются пределы содержаний MgO , CaO , SiO_2 , Fe_2O_3 . Мировые запасы магнезита и брусита не подсчитывались. Эксплуатация месторождений ведется открытым способом при мощности залежей не менее 1 м и коэффициенте вскрыши не более 2 м. За рубежом крупные жильные месторождения аморфного магнезита отрабатываются подземным способом. Брусит добывается

в СНГ, США и Канаде. Мировая (без СНГ) добыча магнетита превысила 8 млн т. Основной объем ее приходится на КНДР, Грецию, КНР, Австрию, США, Бразилию, Турцию. СНГ занимает ведущее место по запасам и добыче магнетита. Цены на металлургический магнезитовый порошок и магнезитовые огнеупорные изделия составляют 10—60 долл. за 1 т.

Типы промышленных месторождений

Промышленные месторождения магнетита и брусита пространственно и генетически связаны с магнезиальными карбонатными и силикатными породами. Выделяют следующие основные их типы: гидротермальные (магнезитовые и тальк-магнезитовые), скарновые, инфильтрационные выветривания и осадочные, из которых основное значение имеют гидротермальные и инфильтрационные.

Гидротермальные магнезитовые месторождения приурочены к метаморфизованным и дислоцированным толщам доломитов, известняков и глинистых сланцев, которые прорваны дайками основных пород. Месторождения состоят из большого числа рудных тел линзовидной, гнездовой и неправильной пластообразной формы, контролируются пластами доломитов и зонами разрывных нарушений. Длина тел по простиранию 1—2 км, по падению 500—600 м, при мощности 400—500 м. Руды состоят в основном из магнетита, содержат доломит, кальцит, кварц,

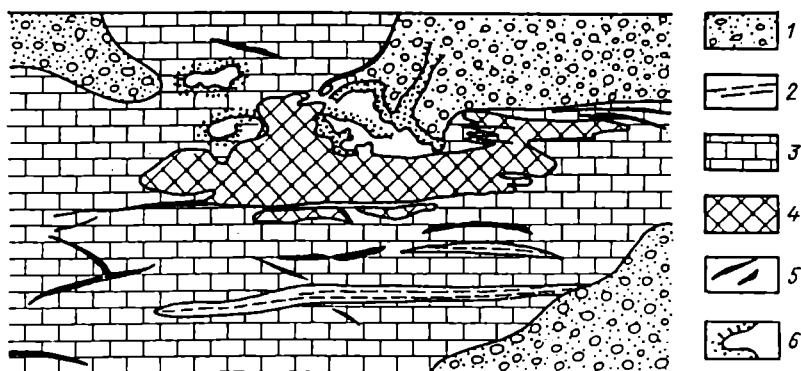


Рис. 4.6. Геологическая карта Саткинского месторождения магнетита Гора Карагай (по М.И. Гарань):

1 — наносы; 2 — мергелистый доломит; 3 — доломит; 4 — магнетит; 5 — диорит; 6 — отвалы

опал, углисто-глинистое вещество. Качество руд высокое: содержание MgO до 46,6 % при небольшом количестве вредных примесей. К этому генетическому типу относятся месторождения Урала (Саткинское, Белорецкое), Восточного Саяна (Савинское), Австрии, Испании, КНР.

Саткинское месторождение (группа из 14 месторождений) локализуется в доломитовой толще мощностью до 500 м, прорванной дайками диабазов (рис. 4.6). Пластообразные тела залегают согласно с доломитами. Магнезиты явнокристаллические.

Инфильтрационные месторождения связаны с глинистыми и латеритными корами выветривания массивов ультраосновных пород. Форма тел штокверковая и жильная. Мощность штокверков небольшая (30—40 м), но площадь значительная. Длина жил по простиранию — более 1 км, по падению — 150—200 м, мощность до 20 м. Месторождения данного типа находятся на Урале (Халиловское), в Закавказье и Казахстане.

4.8. ЦЕОЛИТЫ

Общие сведения

Цеолиты — каркасные водные алюмосиликаты щелочных и щелочноземельных металлов. В эту группу входит более 40 минералов, из которых только отдельные (клиноптилолит, шабазит, эрионит, морденит, филлипсит) обладают полезными свойствами и формируют промышленные концентрации. Особые свойства цеолитов определяются их строением. Они имеют каркасно-полостную структуру. Алюмосиликатные тетраэдры образуют сложные кольца, пронизанные полостями (поры, каналы), которые связаны друг с другом и с поверхностью кристалла. В естественных условиях в порах и каналах содержится так называемая цеолитная вода, которая при нагревании выделяется без нарушения структуры каркаса. Дегидратированные цеолиты способны вновь поглощать воду. Полости в них могут заполняться и другими веществами, Это обуславливает использование этих минералов в качестве сорбентов и катализаторов.

Природные цеолиты — это новый тип полезных ископаемых, нашедший применение в различных отраслях промышленности и сельском хозяйстве с 60-х годов. Важнейшие области применения цеолитов следующие: очистка отходящих газов промышленных предприятий от оксидов серы, городских и сточ-

ных вод от аммонитного азота, вод нефтепереработки, питьевого и технического водоснабжения, осушка и очистка природного газа, воздуха, азота и других газов, повышение урожайности сельскохозяйственных культур, увеличение продуктивности животноводства. Кроме того, доказана эффективность использования природных цеолитов для извлечения металлов из морской воды и сточных вод, для сорбции аммиака из продуктов газификации углей, в качестве активных добавок и наполнителей резины, пластмасс, бумаги, высокопрочных и декоративных цементов, для очистки и осветления соков, этилового спирта, предохранения минеральных удобрений от слеживаемости, для осушки зерна, очистки вод от радиоактивных элементов.

Качество сырья оценивается по содержанию цеолитов, их минеральному и химическому составу, сорбционным и ионообменным свойствам. Породы, содержащие 75 % цеолитов, используются без обогащения. Применяя обогащение, можно разрабатывать породы, содержащие 40—60 % цеолитов.

Подсчет запасов цеолитов и цеолитсодержащих пород проведен только в отдельных странах и по отдельным месторождениям, однако считают, что их мировые запасы практически не ограничены. В СНГ известно более 60 месторождений с запасами цеолитов (клиноптилолита, морденита и филлипсита) свыше 3,6 млрд т. Крупными запасами обладают США, Япония, Италия. Добыча цеолитов за рубежом в настоящее время составляет более 1 млн т (в 1965 г. — 13 тыс. т). В России добыча цеолитов ведется пока в небольших объемах, преимущественно для местных нужд. В зависимости от области применения цены на товарные природные цеолиты колеблются от 10 до 200 долл. за 1 т.

Типы промышленных месторождений

Цеолиты являются основными пороодообразующими минералами многих осадочных, эффузивно-осадочных и эффузивных пород, широко распространены в щелочных интрузивных и метасоматических породах, пегматитах, коре выветривания материкового типа, осадочных месторождениях бокситов, марганца, фосфоритов, угленосных отложениях. Наибольшее промышленное значение имеют цеолитизированные туфы и цеолитосодержащие отложения содовых озер, формировавшиеся в ходе гидротермальных вулканогенных и вулканогенно-осадочных процессов.

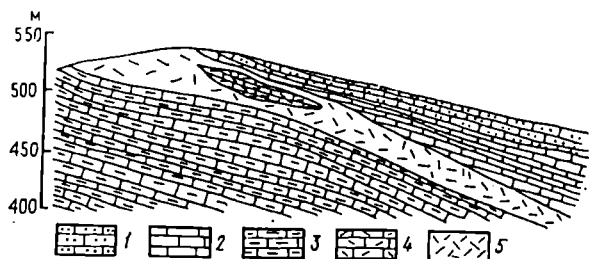


Рис. 4.7. Схематический геологический разрез участка Айдагского месторождения (по А.И. Кулиеву):

1—4 — известняки: 1—2 — кампан-маастрихтские (1 — плитчатые светло-серые; 2 — серые песчаные), 3 — верхнесантонские белесые, 4 — с туфогенным материалом; 5 — белые цеолитизированные туфы (собственно Айдагский пласт)

Гидротермальные вулканогенные месторождения пространственно и генетически связаны с андезит-дацитовым вулканизмом складчатых областей и эффузивным трапповым магматизмом платформ. Рудные тела представлены пластообразными залежами в лавах и туфах с содержанием цеолитов 50—90 % или пластами и линзами пепловых стекловатых туфов липаритов, дацитов и андезитов, в которых стекло замещено цеолитами, содержание последних в этом случае достигает 95 %. Месторождения первого подтипа (Камчатка, Курильские острова, Новая Зеландия) играют пока ограниченную роль. Месторождения второго подтипа, рассматриваемые рядом исследователей как стратиформные, весьма широко распространены, содержат основные запасы цеолитов и эксплуатируются во многих странах мира.

В СНГ наиболее крупные месторождения клиноптилолита и морденита второго подтипа находятся в Закарпатье (Крайнинское, Сокирница, Водима), в Грузии (Тедзами, Дзегви), Армении (Ноемберянское), Азербайджане (Айдагское, Кемерлинское), на Сахалине, в Приморье, Восточной Сибири. Аналогичные месторождения имеются в США, Японии, Новой Зеландии, Мексике, на Кубе, в Италии, Греции, Болгарии.

На Айдагском месторождении (рис. 4.7) пластообразное тело цеолитовых пород мощностью 20—40 м, залегающее в известняках, простирается на 2,5 км и прослежено на глубину до 700 м.

Вулканогенно-осадочные цеолитовые месторождения связаны с содовыми озерами в кальдерах и других вулканических

депрессиях. Рудные тела — пластовые и линзовидные залежи мощностью в несколько десятков метров развиты на площади в десятки и сотни квадратных километров. Месторождения по запасам относятся к крупным, содержание цеолитов достигает 70 %. Промышленные месторождения этого типа установлены в США, Танзании, Кении, Турции, Ираке и Иране.

4.9. МИНЕРАЛЬНЫЕ СОЛИ

Общие сведения

Минеральными солями называют водорастворимые хлориды, сульфаты и карбонаты щелочных и щелочноземельных металлов, а также соединения смешанного состава. Наиболее важную практическую роль играют следующие минералы: галит NaCl , сильвин KCl , бишофит $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, карналлит $\text{KCl} \times \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, каинит $\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, эпсомит $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, тенардит Na_2SO_4 , мирабилит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, лангбейнит $\text{K}_2\text{SO}_4 \times 2\text{MgSO}_4$, природная сода $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ и др.

В природе минеральные соли образуют соляные породы, название которых дается по преобладающему минералу (более 60 %), и рассолы (рапа). Все соляные породы в разных количествах содержат галит, гипс, ангидрит, карбонаты и глинистые минералы. Практическое значение имеют каменная соль, сильвинит, карналлит, лангбейнитовая и каинитовая породы.

Каменная соль используется как пищевая (до 65 % добычи), в качестве консерванта и в химической промышленности для получения каустической и кальцинированной соды, хлора, соляной кислоты, нашатыря, хлористого аммония и др. Общепринятых требований к качеству поваренной соли не имеется, для каждого месторождения устанавливаются собственные условия для подсчета запасов. Для пищевой соли содержание хлористого натрия должно быть не менее 97 % (II сорт), для технической — 97,5—98 %, а для кормовой — 90—95 %. Требованиями промышленности ограничено содержание вредных примесей: кальция, магния, калия, сульфатов, нерастворимого остатка.

Калийные соли применяются при производстве удобрений (95 % добычи), хлористого, сульфатного и каустического калия, поташа и других химических препаратов. Промышленность перерабатывает калийные руды с содержанием хлористого калия 20—35 % и более. При наличии примесей хлористого маг-

ния и карбонатно-глинистых пород руды подвергаются флотации или химической переработке.

Соли магния используются для получения металлического магния и его химических соединений. Сульфаты натрия применяются в химической, стекольной, целлюлозно-бумажной и текстильной промышленности, при обработке фотоматериалов.

Мировые ресурсы каменной соли составляют 10 трлн т, добыча превышает 170 млн т; она сосредоточена в СНГ, КНР, США, Великобритании, Германии, Индии, Польше. Мировые ресурсы калийных солей достигают 67 млрд т (в пересчете на K_2O), подтвержденные запасы — 5,3 млрд т. Основные месторождения расположены в СНГ, Канаде, Германии, Израиле, Иордании и США. Мировая добыча калийных солей составляет более 100 млн т и в наибольшем объеме ведется в СНГ, Канаде, Германии, Франции, США. Разработка месторождений каменной и калийных солей осуществляется подземным способом и частично подземным выщелачиванием. Цена 1 т калийных солей колеблется от 70 до 80 долл.

Типы промышленных месторождений

В зависимости от условий и времени образования все месторождения минеральных солей разделяют на следующие типы: ископаемые (древние) осадочные, соляные источники и рассолы, современные.

Ископаемые осадочные месторождения твердых солей возникли в дочетвертичные геологические периоды и, как правило, погребены под толщей молодых отложений. По вещественному составу месторождения часто являются комплексными и наряду с каменной содержат также хлоридные и сульфатные калиевые и магниевые соли.

По особенностям тектонической структуры и условиям залегания соляных пород различают три типа ископаемых месторождений: 1) пластовые недислоцированные со спокойным моноклинальным или мульдобразным залеганием; 2) пластовые складчатые; 3) соляные штоки. Месторождения первых двух типов характеризуются слоистым внутренним строением, пластовой и линзовидной формой залежей. К пластовым ненарушенным относятся Славяно-Артемовский, Ангаро-Ленский, Белорусский (Старобинский), Припятский и Верхнекамский бассейны в СНГ, Стратсфуртский (Германия) и Соскачеванский (Канада) бассейны, месторождения штатов Канзас и Оклахома

в США, а к тектонически нарушенным — месторождения Прикарпатья (Калуш, Стебникское).

Солянокупольные месторождения представлены мощными соляными массивами, которые слагают ядра округлых или вытянутых на десятки километров брахиантклиналей. Мощность соли в ядре составляет несколько километров. Соляные массивы имеют форму асимметричных цилиндрических, эллиптических или грибообразных тел. Площадь соляных куполов в плане варьирует обычно от 50 до 100 км, глубина их залегания — от нескольких сотен метров до 2 км. Месторождения этого типа распространены в Волго-Урало-Эмбенском районе (Илецкое), на Украине, в Виллойской впадине (Кемпендйское), в США (штаты Техас, и Луизиана), Польше, Ираке.

Верхнекамское месторождение на Урале связано с мощной толщей осадочных пород пермского возраста. В разрезе соленосных отложений сверху вниз выделяются: толща покровной соли мощностью от 1 до 70 м, сильвинит-карналлитовый горизонт мощностью около 60 м, состоящий из девяти пластов калийных солей (мощность от 1 до 15 м), сильвинитовый горизонт общей мощностью около 20 м, включающий шесть пластов красного сильвинита, переслаивающихся с пластами каменной соли, и подстилающая толща каменной соли мощностью от 250 до 400 м. Содержание KCl в карналлитовой породе — 18—20 %, в сильвините — от 10 до 56 %. Запасы калийных солей (в пересчете на K₂O) составляют около 30 млрд т.

Соляные источники и рассолы образуются в результате выщелачивания подземными водами солей на глубине. По условиям залегания они могут быть пластовыми, трещинными и трещинно-карстовыми, по химическому составу являются преимущественно хлоридными. Из этих месторождений извлекают соду, буру, йод, бром, поваренную соль. Соляные источники широко развиты в районах крупных ископаемых соляных месторождений (Славяно-Артемовский бассейн), а также на большинстве нефтяных и газовых месторождений Северного Кавказа, Азербайджана, Западной Сибири.

Современные соляные месторождения связаны с внутриконтинентальными соляными озерами и прибрежно-морскими бассейнами (лагунами и лиманами), выполненными рапой, а также с современными морями и океанами. По составу среди них различают хлоридные, сульфатные и карбонатные. Месторождения соляных озер возникают при превышении испарения над

атмосферными осадками и привносе солей поверхностными и подземными водами. Они известны в Прикаспии (Эльтон, Баскунчак) и Западной Сибири.

Прибрежно-морские месторождения, представленные прибрежными солонowodными озерами, лиманами, лагунами и заливами, формируются при постоянном притоке морских вод и испарении их в условиях устойчивого жаркого и сухого климата. Такие месторождения распространены вдоль побережий Черного, Каспийского, и Аральского морей. Характерным примером является Кара-Богаз-Гол, залив-лагуна на восточном берегу Каспийского моря. Здесь в зимний период отлагался мирабилит, а в летний — смешанные соли преимущественно галитового состава. В связи с сооружением плотины режим залива нарушен, садка мирабилита резко уменьшилась, и в основном накапливаются соли сложного состава. Поэтому в настоящее время добыча мирабилита ведется из рассолов погребенных пластов.

4.10. ФОСФАТНОЕ СЫРЬЕ

Общие сведения

Основное промышленное значение как фосфатное сырье имеют апатиты и фосфориты. Апатит — минерал переменного состава с общей формулой $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$. Членами изоморфного ряда апатита являются фтор-, хлор- и гидроксилapatиты. В качестве примесей присутствуют стронций, барий, магний, редкие земли и др. Апатит — распространенный минерал, но основное промышленное значение имеют его концентрации в щелочных и ультраосновных щелочных породах и в связанных с ними постмагматических образованиях.

Фосфориты — это осадочные горные породы (глинистые, карбонатные, смешанные), содержащие фосфаты, близкие по составу фторапатиту. Фосфориты обогащены такими элементами-примесями, как уран, редкие земли, стронций; реже они содержат ванадий, титан, цирконий, золото и др.

подавляющая масса фосфатного сырья используется для производства фосфорных и комбинированных удобрений, из которых наиболее широко распространены простой и двойной суперфосфаты; их получают химической переработкой, при которой нерастворимые соединения фосфора переходят в хорошо

растворимые и легко усвояемые растениями. Суперфосфат, изготовленный из апатитового концентрата, содержит около 20 % P_2O_5 в растворимой форме. Качество суперфосфата, получаемого из фосфоритов, несколько ниже. При механической переработке (тонкое измельчение) образуется фосфоритная мука, которая чаще применяется на подзолистых почвах, обладающих повышенной кислотностью.

Фосфатное сырье используется также в химической промышленности для производства фосфора, фосфорной кислоты и ее солей, синтетических моющих средств, в черной металлургии для получения феррофосфора и в медицине.

Среди промышленных руд различают собственно апатитовые и комплексные (апатит-магнетитовые, апатит-кальцитовые, апатит-титаномagnetитовые). Апатит-нефелиновые руды хорошо обогащаются флотацией с получением высокосортного апатитового концентрата (39,4 % P_2O_5).

Фосфориты по минеральному составу и текстурно-структурным признакам разделяются на природные литологические типы: микрозернистые, зернистые желваковые (конкреционные), галечниковые и конгломератовые, ракушечные, рыхлые и каменистые. По содержанию фосфора различают собственно фосфориты и фосфатные пески, мергели, известняки. Качество фосфоритов определяется содержанием P_2O_5 и вредных примесей — MgO , Fe_2O_3 , CO_2 , Al_2O_3 и др. К промышленным относят фосфоритовые руды с содержанием в них P_2O_5 не менее 3 % при условии их легкой обогатимости.

Добыча фосфатного сырья ведется как подземным, так и открытым способами. Содержание P_2O_5 в апатитовых рудах при подземной разработке должно быть не менее 8 %, а при открытой — не менее 6 %. Открытая добыча ведется на месторождениях апатитовых руд с коэффициентом вскрыши не более 20 при минимальной мощности залежей 10 м. На фосфоритовых месторождениях вскрыша должна быть не более 25 м при минимальной мощности пластов массивных фосфоритов 1 м, желваковых — 0,5—1 м, ракушечных — 0,3 м. Крупными считаются месторождения фосфатного сырья с запасами более 200 млн т, средними — от 200 до 50, мелкими — менее 50 млн т.

Запасы фосфатного сырья за рубежом превышают 100 млрд т. Из них на долю фосфоритов (20—45 % P_2O_5) приходится 99 % запасов и лишь 1 % — на долю апатитов (до 10 % P_2O_5). Крупнейшие месторождения находятся в Марокко, Египте, Алжире,

Тунисе, Сирии, Уганде, США. В СНГ запасы фосфатного сырья составляют около 15 млрд т, в т. ч. 2 млрд т в комплексных железорудных и редкометальных месторождениях, а на долю апатитовых руд приходится более 40 % промышленных запасов фосфатного сырья. Добыча фосфатного сырья в капиталистических и развивающихся странах превысила 100 млн т. Основными добывающими странами (70 % добычи) являются США и Марокко. Цены на фосфатное сырье колеблются в зависимости от его качества; 1 т фосфоритовой руды (30 % P_2O_5) стоит около 30 долл.

Типы промышленных месторождений

Главным промышленным типом апатитовых месторождений является магматический. Для фосфоритов основное значение имеют месторождения осадочные и выветривания. За рубежом запасы и добыча фосфатного сырья приурочены главным образом к осадочным месторождениям фосфоритов (88 % запасов руды, 95 % запасов P_2O_5 и 93 % производства концентратов), апатитовые руды добываются лишь из карбонатитовых месторождений (12 % запасов руды, 5 % запасов P_2O_5 и 7 % производства концентратов).

Магматические месторождения по минеральному составу разделяются на апатитовые, апатит-нефелиновые и апатит-магнетитовые. Апатитовые месторождения приурочены к габбросиенитовым интрузивным массивам платформенных щитов. Апатит как породообразующий минерал относительно равномерно распределен в материнских интрузивах, но содержание его незначительно (2—4 % P_2O_5). Примером является Ошурковское месторождение в Бурятии.

Апатит-нефелиновые месторождения пространственно и генетически связаны с интрузиями нефелиновых сиенитов, развитыми на щитах и в краевых зонах платформ. В сложении массивов участвуют нефелиновые сиениты (хибиниты, рисчорриты, луявриты) и бесполовошпатовые нефелин-пироксеновые породы (преимущественно ийолит-уртиты). Промышленные месторождения данного типа известны на Кольском полуострове (месторождения Хибинского массива — Кукисвумчорр, Юкспор, Апатитовый цирк, плато Расвумчорр, Коашва), а также в Гренландии, Южной Африке, Бразилии, Канаде.

Хибинские месторождения локализуются в пределах крупного массива щелочных магматических пород. Массив имеет в плане концентрическое строение. Линзо- и пластообразные залежи апатит-нефелиновых руд тяготеют к висячему блоку зоны ийолит-уртитов (рис. 4.8). Длина рудных тел от нескольких сотен метров до первых километров, мощность — от десятков до нескольких сотен метров. Рудные горизонты в залежи разделены безрудными уртитам. По текстурным признакам выделяют руды сетчатые, полосчатые, пятнистые, линзовидно-полосчатые и блоковые. В бедных (сетчатых) рудах содержание P_2O_5 составляет 6—15 %, в богатых (пятнистых, линзовидно-полосчатых, блоковых) — 20—27 %.

Апатит-магнетитовые месторождения связаны с габбро-сyenитовыми габбро-пироксенит-дунитовыми и габбро-анортозитовыми магматическими комплексами. Руды комплексные (с магнетитом, титаномagnetитом). В качестве примеров месторождений этого типа можно назвать Волковское на Урале, Кирунава в Швеции.

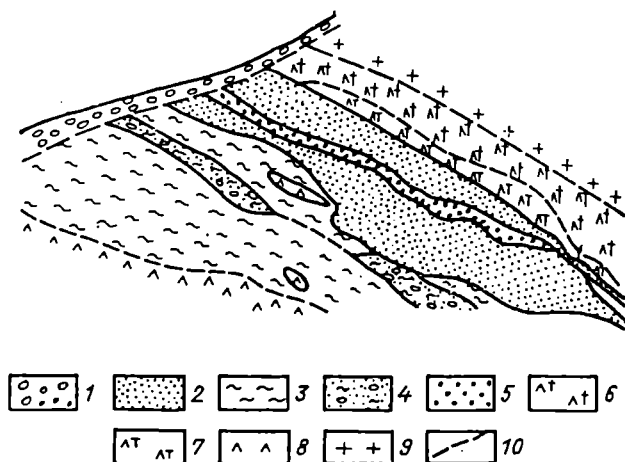


Рис. 4.8. Геологический разрез месторождения Куивавумчорр (по Г.М. Вировлянскому и др.):

1 — наносы; 2—4 — руды: 2 — пятнистые, 3 — линзовидно-полосчатые, 4 — крупноблоковые; 5 — апатитовая брекчия; 6—7 — ийолит: 6 — полевошпатовый; 7 — сфенизированный; 8 — ийолит-уртит; 9 — ричоррит; 10 — магматические контакты (сплошные линии на контакте пород — послеапатитовые тектонические разломы)

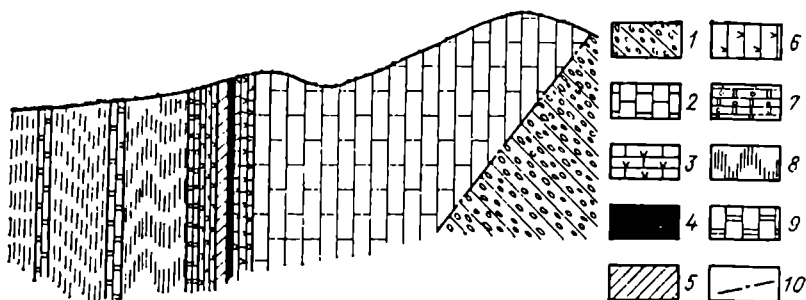


Рис. 4.9. Геологический разрез центральной части фосфоритового месторождения Чулактау (по Б.М. Гиммельфарду и А.С. Соколову):

1 — верхнедевонские конгломераты; 2—3 — нижнесилурийские — среднекембрийские породы; 2 — известняки и доломиты; 3 — горизонт «бурых известняков»; 4—7 — среднекембрийские образования; 4—6 — фосфоритная серия (пачки: 4 — главная фосфоритовая, 5 — фосфатно-кремниевая и нижняя фосфоритовая, 6 — кремниевая), 7 — горизонт «нижних доломитов»; 8—9 — нижнекембрийские отложения; 8 — кремнистые породы, 9 — первый и второй горизонты доломитов; 10 — разрывные нарушения

Карбонатитовые месторождения, являющиеся по генезису позднемагматическими, представлены комплексными рудами: апатит-магнетитовыми, апатит-флогопитовыми, апатит-редкометаллическими. Месторождения приурочены к массивам ультраосновных щелочных пород. К данному типу относятся Ковдорское (Кольский полуостров) и Больше-Саянское (Сибирь). В капиталистических и развивающихся странах наиболее крупными являются месторождения Якупиранга в Бразилии, Палабора в ЮАР.

Осадочные фосфоритовые месторождения по геотектоническому принципу разделяются на геосинклинальные, платформенные и переходные. Первые характеризуются линейной вытянутостью на несколько сотен километров при ширине в десятки километров. В их пределах развита кремнисто-карбонатная фосфоритовая формация мощностью до 100 м, содержащая до 10 пластов мелкозернистых руд суммарной мощностью до 40 м. Руды богатые — содержание P_2O_5 до 36 %. Месторождения данного типа находятся в Казахстане (Каратауское), в Монголии, Австралии, США.

Фосфоритоносный бассейн Каратау включает большое число месторождений (Джанатас, Коксу, Аксай, Чулактау, Кокджон). Бассейн сложен известняками, доломитами, кремнистыми

породами протерозоя, палеозоя и кайнозоя. В состав фосфоритоносной свиты общей мощностью около 75 м входят доломиты, фосфориты, фосфатно-карбонатные и фосфатно-кремнистые породы. Число пластов фосфоритов в ее разрезе варьирует от одного до семи, мощность — от первых метров до 17 м. Пласты залегают под углами 30—60°, а местами вертикально (рис. 4.9). Руды мелкозернистые, реже встречаются фосфоритовые конгломераты и желваковые фосфориты. Содержание P_2O_5 изменяется от 10 до 35 %.

Платформенные фосфоритовые месторождения представлены изометричными и вытянутыми телами среди органогенно-обломочных пород. Обычно наблюдается не более трех рабочих пластов ракушечниковых и желваковых фосфоритов суммарной мощностью 1—4 м. Руды бедные (3—18 % P_2O_5), требующие обогащения. К крупным по запасам относятся Волжский, Днепровско-Донецкий и Актюбинский фосфоритовые бассейны. Подобные месторождения известны в Бельгии, Франции, Великобритании.

Месторождения переходного типа прослеживаются на сотни километров, сложены терригенно-карбонатными породами мощностью до нескольких десятков метров. Продуктивная толща включает до восьми рабочих пластов суммарной мощностью до 20 м. Залегание рудных тел и вмещающих пород почти горизонтальное. Руды богатые (24—35 % P_2O_5). Подобные месторождения широко распространены в Марокко, Алжире, Тунисе, Египте, Сирии, Ираке, Иране, Турции.

4.11. СЕРНОЕ СЫРЬЕ

Общие сведения

Среднее содержание серы в земной коре 0,03 %. Лишь небольшая часть ее встречается в природе в самородном виде. Другими источниками этого элемента являются сульфиды металлов, сульфаты (гипс и ангидрит), сероводород природных горючих газов, сернистые нефти, битуминозные песчаники. Сера получают попутно при коксохимическом производстве и металлургической переработке руд цветных металлов. Природная самородная сера бывает кристаллической и аморфной. При температуре 114—119 °С она плавится, превращаясь в подвижную жидкость. Это свойство используют при обогащении серных руд и при добыче серы методом подземного расплавления.

Основное количество серного сырья (70—90 %) используется для получения серной кислоты; она применяется при производстве фосфорных, азотных и калийных удобрений, различных химикатов, служит для очистки нефтепродуктов, получения красок и пигментов, синтетических волокон, взрывчатых веществ, моющих средств, пластмасс. Кроме того, сера и ее соединения используются в целлюлозно-бумажной, фармацевтической, пищевой и текстильной промышленности, в сельском хозяйстве — как удобрение и как средство для борьбы с вредителями.

Месторождения самородной серы относятся к крупным при запасах более 10 млн т, средним — 1—10, мелким — менее 1 млн т. По содержанию серы руды делятся на богатые (> 25 %), средние (10—25 %) и бедные (5—10 %). По составу сероносных пород различают известняковый, глинистый, мергелистый, песчаниковый и гипсовый типы руд самородной серы. Текстурные разновидности их следующие: полосчатые, вкрапленные, прожилково-, гнездово-вкрапленные и дисперсные. Вредными примесями являются гипс, битумы, мышьяк, селен. Технические требования к элементной сере регламентируются государственными стандартами.

Месторождения самородной серы эксплуатируются карьерами или методом подземной выплавки (ПВС). Минимальная рабочая мощность пласта серных руд обычно составляет 0,5—1 м, а коэффициент вскрыши достигает 20—40 м. Метод ПВС, заключающийся в нагнетании в скважины перегретой воды, которая расплавляет серу на месте залегания, применяется при определенных горно-геологических условиях (водопроницаемость сероносных и непроницаемость подстилающих и перекрывающих пород, содержание серы более 10 %). Извлечение серы при ПВС составляет не менее 40 %.

Минимальное содержание серы в пиритовых рудах 25 %. Крупные, средние и мелкие месторождения имеют запасы пирита соответственно более 5, 0,7—5 и менее 0,7 млн т. Сернистый ангидрит извлекается также из отходящих газов металлургических заводов при содержании 3 % и более. Кроме того, серу получают из природных газов (содержание до 20 %) и нефти (1—5 %). Она отличается высокой чистотой, дисперсностью и низкой себестоимостью. Второстепенное значение как источник серы имеют ископаемые угли (содержание от 0,5 до 9,5 %),

битуминозные пески, месторождения гипса и ангидрита, которые эксплуатируются лишь в некоторых странах.

Общие запасы самородной серы за рубежом составляют около 650 млн т, подтвержденные — около 350 млн т. Они сосредоточены в Ираке, США, Чили, Мексике, Японии, Италии, Иордании. Запасы пирита — 1,9 млрд т — связаны с месторождениями Саудовской Аравии, Испании, Японии, Индии, Канады, Норвегии. Около 70 % общих запасов серы, содержащейся в нефти и горючих газах (1,25 млрд т), приходится на месторождения стран Ближнего Востока. Крупные ресурсы серы выявлены в месторождениях ископаемых углей (22 млрд т), гипса и ангидрита (7 млрд т), битуминозных песков (2 млрд т).

Мировая добыча серы превышает 54 млн т. За рубежом из общего объема производства серы (около 39 млн т) 22,8 %, получено из месторождений самородной серы (США, Мексика, Иран), 11 % — из пирита (Испания, Япония, Италия, ЮАР), 44,4 % — из газов и нефти (Канада, США, Франция), 15,6 % — из металлургических газов (Канада, США, Австралия, Япония, Финляндия). Цена технической серы варьирует от 100 до 140 долл. за 1 т.

Типы промышленных месторождений

Серное сырье формируется в результате различных геологических процессов. Промышленное значение имеют месторождения самородной серы двух генетических типов; гидротермальные вулканогенные и осадочные биохимические.

Гидротермальные вулканогенные месторождения пространственно и генетически связаны с молодым и современным наземным вулканизмом. Источником серы служат вулканические эманации. Рудовмещающими породами являются андезиты, туфобрекчии, туфы, лавобрекчии.

Месторождения образуются в поверхностных условиях (из газовых и водных растворов на современных вулканах) или на глубинах до 350 м. Последние локализуются на пересечении пористых пирокластических пород разломами и зонами трещиноватости. Они представлены штоками, линзами, пластообразными телами мощностью от 10 до 150 м, длиной 250—1300 м и шириной 50—900. К гидротермальным вулканогенным в СНГ относятся месторождения Камчатки, Курильских островов, Закавказья (Гюмюр), а за рубежом — Японии (Мацуо, Адзума), Чили (Копиано), Перу, Филиппин.

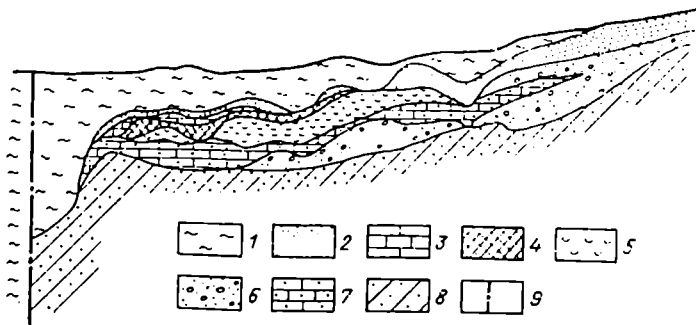


Рис. 4.10. Геологический разрез Язовского месторождения (по И.И. Алексеевко):

1—2 — нижнесарматский подъярус, косовская свита: 1 — глины известковистые, 2 — песчаники кварцевые; 3—5 — диестровский горизонт верхнетортонского подъяруса: 3 — известняки, 4 — известняки с серой, 5 — гипсы и ангидриты; 6—7 — нижнетортонский подъярус: 6 — пески, песчаники, 7 — известняки литотамниевые; 8 — меловая система, верхний отдел — песчаники алевролитовые; 9 — разрывные нарушения

Осадочные биохимические месторождения разделяются на син- и эпигенетические. Первые возникают в водных бассейнах в результате окисления сероводорода при участии серо- и тиобактерий. При этом самородная сера накапливается в донных отложениях. Эпигенетические месторождения формируются в результате проявления нескольких последовательно развивающихся процессов, приводящих к окислению сероводорода и сульфидов с выделением элементарной серы. По морфологии эти месторождения разделяют на следующие группы: солянокупольные, приуроченные к кепрокам («каменным шляпам») соляных куполов; пластовые и пластообразные; линзовидные и гнездовые.

В сероносных кепроках основная масса серы сконцентрирована в кальцитовой или промежуточной гипсовой зонах. Сера заполняет трещины и каверны в пористой вмещающей породе. Содержание ее варьирует от 20 до 50 %. Пластовые и пластообразные залежи связаны с лагунно-морскими отложениями сульфатно-карбонатного состава — известняками, ангидритами. Мощность их изменяется от 0,5 до 30 м. Богатые руды содержат более 25 % серы, а минимальное промышленное содержание составляет 5 %. Линзовидные и гнездовые месторожде-

ния отличаются от пластообразных морфологией и меньшими размерами залежей.

Осадочные месторождения заключают около 80 % мировых запасов и обеспечивают 95 % добычи самородной серы. Сингенетические месторождения (Туркмения, Россия, Ливия, Австралия) не имеют промышленного значения. Крупные эпигенетические месторождения находятся в Прикарпатье (Роздольское, Язовское), Поволжье (Водинское, Алексеевское), в Средней Азии (Гаурдак). Они известны также в Польше, Мексике, Италии, Испании, Франции, Ираке.

Язовское месторождение представлено сложной пластообразной залежью, которая разбита многочисленными разрывными нарушениями (рис. 4.10). Мощность залежи 0,6—30 м. Сероносными породами являются известняки, которые подстилаются гипсами и ангидритами и перекрываются мергелями и глинами, известняками и песчано-глинистыми отложениями. Руды по структуре скрыто- и явнокристаллические, по особенностям текстуры — тонкорассеянные, вкрапленные, гнездовые, прожилково-вкрапленные, брекчиевые. Содержание серы в известняковых рудах 28,5 %, в других разновидностях — от 4 до 14,5 %.

4.12. ДИАТОМИТЫ, ТРЕПЕЛЫ, ОПОКИ

Общие сведения

Названные горные породы относятся к активным минеральным добавкам и сырью для производства заполнителей легких бетонов. Такими заполнителями являются пористые неорганические сыпучие материалы со средней, насыпной плотностью не более 1200 кг/м³ при крупности зерен до 5 мм и не более 1000 г/м³ при крупности от 5 до 40 мм. В данную группу входят также пемза, вулканические и известковые туфы, пористые известняки и известняки-ракушечники, перлит.

Диатомит, трепел и опоки — это осадочные кремнистые горные породы биохимического происхождения. Содержание кремнистых минералов (опала и кристобалита) составляет в них 50—80 %, глинистых — 10—40 %. Для этих пород, характерны высокая гидравлическая активность и высокая фильтрационная способность, повышенная адсорбция, значительная пористость (от 90—92 % у диатомитов до 25—55 % у опок), низкая средняя плотность (от 0,43—0,96 т/м³ у диатомита до

1,04—1,8 т/м³ у опок), хорошие звуко- и теплоизоляционные свойства, химическая устойчивость, абразивность. Прочность (в МПа) диатомитов 50—30, опок до 20—30.

Применение кремнистых пород в промышленности основано на их специфических свойствах. Значительная часть потребляется для получения порошковой продукции (70 % мировой добычи): фильтровальных порошков, наполнителей пластмасс, резины, красок, химических и медицинских препаратов. В качестве активных добавок эти породы используются в цементной промышленности. Наконец, значительная часть их применяется как заполнитель легкого бетона, для изготовления термолитного щебня, керамзитоподобного гравия, легковесного кирпича и др. В зависимости от направления использования к кремнистым породам предъявляются различные требования в отношении содержания кремнезема, примесей песка, оксидов железа, влажности, средней плотности. Крупные месторождения кремнистых пород имеют запасы в несколько миллионов тонн, средние — сотни тысяч — миллион тонн, мелкие — менее 100 тыс. т.

Мировые запасы кремнистых пород составляют около 3,4 млрд т; они сосредоточены в СНГ (2,5 млрд т), США, Дании, Франции и ряде других стран. Добыча в США, Франции, Германии, Мексике, Перу, Бразилии и др. превышает 1,6 млн т. В СНГ только для цементной промышленности получают 7 млн т кремнистых пород. Цена их (в полуфабрикатах) колеблется от 2 до 21 долл. за 1 т.

Типы промышленных месторождений

Месторождения диатомитов, трепелов и опок относятся преимущественно к осадочному биохимическому типу. По условиям образования их разделяют на морские и пресноводные озерные. В месторождениях морского происхождения слои кремнистых пород чередуются в разрезе с прослоями глинистых осадков. В озерных месторождениях толща диатомитов является однородной, имеет массивное сложение. Залежи кремнистых пород распространены в отложениях различного возраста — меловых, палеогеновых и неогеновых. Они формируют горизонты мощностью от 8—10 до 80—110 м.

В СНГ районами развития пластовых залежей кремнистых пород являются Среднее Поволжье (Инзенское, Сенгилеевское, Вольское), восточный склон Урала и Зауралье (Потанинское, Ирбитское, Камышловское), центральные области европейской

части России (Зикеевское, Фокийское), Белоруссия, Северный Кавказ и Закавказье. Крупнейшие месторождения известны также в США, Франции, Германии, Испании, Алжире, Австралии.

4.13. ЕСТЕСТВЕННЫЕ КАМЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Общие сведения

К этой группе неметаллических полезных ископаемых относятся магматические, осадочные и метаморфические горные породы, используемые после механической обработки. В зависимости от применения, способа добычи и обработки продукцию камнеобрабатывающей промышленности разделяют на несколько видов:

1) штучный камень, добываемый блоками, разного размера используемый после дальнейшей обработки в качестве облицовочного (декоративного), дорожного (бытового, брусчатки) и стенового (пильного) камня;

2) камень массового производства неправильной формы — это рваный (бутовый) камень, который получают после взрывания горной массы и отсортировки мелких фракций, и дробленый (щебень, крошка, искусственный песок), который получают в результате дробления добытой горной породы и разделения на фракции.

Для различных целей используются следующие горные породы:

1) сооружение фундаментов (бутовый, пильный и колотый камень — все виды плотных горных пород;

2) кладка стен (стеновые камни и блоки, тесаный камень) — пористые породы: известняки-ракушечники, туфы, доломиты, песчаники;

3) наружная облицовка (облицовочные плиты и камни, профильные элементы) — гранит, габбро, базальт, вулканический туф, мрамор, плотный известняк, песчаник;

4) внутренняя облицовка (облицовочные плиты, профильные элементы) — мрамор, мраморизованный известняк, травертин, вулканический туф;

5) дорожные покрытия (камни бортовые, брусчатка, камень колотый) — гранит, диорит, габбро, базальт, песчаник, плотный известняк;

б) строительство гидротехнических сооружений (камни дробленые колотые и тесаные, валуны) — известняк плотный, доломит, песчаник, диорит, габбро, базальт, диабаз.

Промышленные требования к естественным строительным материалам крайне разнообразны, что обусловлено большим разнообразием областей использования, зависящим от физических и технологических свойств камня. К наиболее важным свойствам принадлежат прочность и долговечность. Прочность (сопротивление механическим воздействиям) характеризуется значениями различных показателей — сопротивлением сжатию, растяжению, изгибу, удару, истиранию. Предел прочности на сжатие — важнейшая характеристика строительного камня, регламентируемая ГОСТами по направлениям использования. Эта величина варьирует от 0,3—1 МПа для известняков-ракушечников до 100—120 МПа для изверженных пород.

Долговечность определяет способность камня сохранять прочностные (и декоративные для облицовочных камней) характеристики при длительном воздействии процессов физического и химического выветривания. Важным испытанием для оценки долговечности является определение коэффициента морозостойкости, который показывает снижение прочности камня после циклического замораживания и оттаивания.

Помимо перечисленных показателей в зависимости от назначения породы устанавливают среднюю плотность, пористость и трещиноватость, водопоглощение, водонасыщение, вязкость, обрабатываемость, полируемость, устойчивость окраски, теплоизоляционные свойства и др. (табл. 4.1).

Месторождения строительного камня по запасам (млн м³) разделяют на крупные (> 30), средние (15—30) и мелкие (< 15). Мировые запасы строительного камня практически не ограничены. Однако месторождения этого вида минерального сырья эксплуатируются только в пределах экономически освоенных районов с развитой сетью транспортных путей. Разработка ведется открытым способом с применением буровзрывных работ, а также механизированных врубовых и камнепильных аппаратов. В СНГ строительный камень в крупных масштабах добывается в Карелии, на Кольском полуострове, на юге Украины, в Крыму, на Северном Кавказе, и в Закавказье, Средней Азии, Казахстане, на Урале, в Западной и Восточной Сибири, на Дальнем Востоке. Общая добыча строительного камня превышает 500 млн м³.

Таблица 4.1
Физико-механические свойства горных пород — сырья для производства строительного и облицовочного камня

Порода	Средняя плотность, т/м³	Плотность, т/м³	Пористость, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Водопоглощение, %	Износ в полом бабине, %	Для облицовочных камней		
							Предел прочности не менее	Коэффициент разматывания, не менее	Марка морозостойкости
Гранит	2,5—2,7	2,7—2,8	0,5—0,7	48—280	3,5—21,5	1,5—5	90	0,8	50
Гранитогнейс	2,5—2,8	2,7—2,9	0,1—11,3	68—175	63—168	1—12,3	—	—	—
Снегит	2,5—2,6	2,6—2,7	0,1—5,9	100—205	78—135	—	90	0,8	50
	2,6—2,7	2,7—2,8	—	200—250	180—230	—	90	0,8	50
Диорит	2,7—2,8	2,8—2,9	0,3—5,4	62—278	59—225	—	90	0,8	50
Гранодиорит	2,5—2,8	—	0,5—4	132—215	100—210	4,7—5,5	90	0,8	50
Габбро	3,1—3,3	—	—	112—375	110—277	1,9—7,9	90	0,8	50
	2,5—2,8	—	—	57—134	35—119	—	60	0,7	50
Лабрадорит	2,6—2,9	2,7—3,1	0,4—2,9	55—262	47—232	—	—	—	—
Трахит	2,2—2,6	2,5—3,1	—	59—160	—	4,8—6,6	—	—	—
Диабаз	3,1—2,8	—	—	310—370	—	2,3—2,9	60	0,7	50
	2,4—2,8	2,8—2,9	0,8—10,8	20—135	—	—	—	—	—
Базальт	2,6—3	2,9—3,3	0,1—0,9	100—500	95—450	—	—	—	—
Андезит	2,5—2,8	2,6—2,8	0,2—7,9	83—250	80—230	0,5—4,5	30	0,7	50
Порфирит	2,7—2,8	2,7—2,9	0,4—2	110—239	—	—	60	0,7	50
Гнейс	2,6—2,8	2,7—2,9	0,3—2,2	75—150	73—145	2,2—5,6	—	—	—
Амфиболит	2,8—2,9	2,9—3	0,1—2	121—148	115—140	—	—	—	—
Кварцит	2,5—2,6	2,6—2,7	—	90—329	—	—	—	—	—
Мрамор	2,6—2,8	2,7—2,9	0—2	20—200	10—160	—	90	0,8	50
Вулканический туф	0,8—1,8	2,4—2,6	4,9—67	7—73	—	—	40	0,7	25
							20	0,7	15
Известняк	1,4—2,8	до 2,9	0,3—15	8,4—250	7,5—220	0,8—12	10—20	0,65	25
Доломит	2,2—2,9	до 3	0,3—12	4,5—220	3,3—245	0,6—10	20	0,65	25

Типы промышленных месторождений

По условиям образования выделяют магматические, осадочные и метаморфогенные месторождения естественных каменных строительных материалов (строительных горных пород).

Магматические месторождения представлены интрузивными массивами (батолиты, штоки, лакколиты) и эффузивными образованиями (покровы и потоки). Месторождения интрузивного подтипа характеризуются выдержанностью состава и качества строительного камня по площади и на глубину. Они сложены гранитами, гранодиоритами, сиенитами, диоритами, габбро, лабрадоритами. Месторождения эффузивного подтипа, имеющие пластообразную форму, залегают горизонтально или с небольшим наклоном, выдержаны по мощности и качеству полезного ископаемого. Это диабазы, базальты, андезиты, липариты и вулканические туфы. Наиболее крупные месторождения магматических горных пород расположены в Карело-Кольском регионе (Сюсюянсаари, Питкяранта), на Украине (Емельяновское, Корнинское, Капустинское, Токовское); на Северном Кавказе и Закавказье (Ратеванское, Артикское); Урале (Сибирское), в Средней Азии и Казахстане (Актау, Шайданское); Восточной Сибири (Изербельское, Орленок).

Осадочные месторождения строительных горных пород — пластовые залежи литифицированных обломочных (песчаники, конгломераты) и биохимических (известняки, доломиты) отложений палеозойского и мезо-кайнозойского возраста — разрабатываются для получения щебня, бута, стенового и облицовочного камня в районах, испытывающих дефицит магматических горных пород. Подобные месторождения расположены в Прибалтике (Каарма, Сауриема), центральных районах европейской части России (Коробчеевское), Крыму (Биюк-Янкойское), Закавказье (Давалинское).

Метаморфогенные месторождения представлены пластообразными залежами мраморов, кварцитов, гнейсов. Среди докембрийских, палеозойских и мезозойских кристаллических пород кварцитовые месторождения крайне редки. Наиболее известным из них является Шокшинское месторождение в Карелии. Небольшие месторождения находятся на Украине (Толкачи, Белоковичи), Урале (Машакское). Месторождения мрамора широко распространены в Карелии (Киви-Шурья, Белая Гора), на Украине (Требушарское, Кругловское), в Закавказье

(Молитское, Дезское, Годоганское, Лопотское), на Урале (Уфалейское, Прохорово-Баландинское, Нижне-Тагильское) в Средней Азии и Казахстане (Газганское, Аркутсайское, Каратау), Сибири (Кибик-Кордонское, Базаихское, Буровщина), Архангельской обл. (Покровское).

Горно-геологические условия месторождений строительных и облицовочных камней

Покровское месторождение гранито-гнейсов и амфиболитов располагается в Архангельской области в Онежском районе в 2 км к западу от пос. Петровское на берегу Онежской губы Белого моря. Месторождение отрабатывается карьером, который связан с районным центром и дробильно-сортировочным заводом бетонной автодорогой и железнодорожной веткой. Площадь месторождения 162,4 га. Оно простирается на 3 км вдоль Онежской губы полосой, ширина которой от 50 до 700 м. С противоположной стороны месторождение ограничено болотами. Наибольшие отметки поверхности земли в центральной части.

В геологическом строении месторождения принимают участие архейские породы изверженно-метаморфического комплекса и четвертичные ледниковые образования.

В районе месторождения породы архея выходят на поверхность. Буровыми, скважинами они вскрыты на глубину до 50 м.

Коренные породы (полезные ископаемые) представлены двумя разновидностями: амфиболитами и гранитогнейсами.

Амфиболиты составляют 30 % продуктивной толщи, остальная часть массива представлена гранитогнейсами. Гранито-гнейсы преимущественно мелкозернистые, реже среднезернистые. Основная масса их состоит из плагиоклаза, кварца, микроклина, биотита и роговой обманки. Текстура гнейсовидная, полосчатая. Амфиболиты имеют темную окраску с красными пятнами гранита. Структура средне- и мелкозернистая. Текстура массивная и темнополосчатая. Основная масса представлена амфиболитом и плагиоклазом, в меньшем количестве присутствуют биотит, кварц, гранаты. Границы слоев между отдельными литотипами четкие. Общее погружение слоев отмечено с юго-запада на северо-восток. Углы падения 30—45°. Азимут простираения пород СЗ 280—330°, падение СВ — 20—60°.

По физико-механическим свойствам гранито-гнейсы и амфиболиты аналогичны друг другу. Выходы пород слабо под-

вергались процессам выветривания. На месторождении развиты в основном две системы трещин: с простираением, близким к широтному и меридиональному. Иногда трещины заполнены конгломератами или породами вскрыши. Кроме трещин встречаются сильно раздробленные зоны мощностью до 40 м. Закономерностей в расположении трещин и зон дробления не установлено.

Амфиболиты залегают в виде линз, прерывистых слоев, реже блоков, и прослеживаются по всему участку без каких-либо закономерностей в простираении. Гранитогнейсы залегают в виде слоев, обтекающих разнообразные формы амфиболитов. Средняя мощность полезного ископаемого по месторождению составляет 35 м.

Четвертичные отложения представлены образованиями конечной морены. Они нивелируют весьма сложный рельеф кровли массива и поэтому мощность их сильно колеблется от 0 до 12,5 м, составляя в среднем 4,36 м. Конечная морена представлена красновато-бурым, до темно-бурого суглинком, часто обводненным, в подошве слоя с включением валунно-галечного материала, достигающим 30 % по объему; отдельные валуны имеют размер более 1 м в поперечнике.

Завершает геолого-литологический разрез почвенно-растительный слой незначительной мощности (средняя мощность 0,2 м) с включениями валуно-галечного материала и корней растений.

Испытания, проведенные в соответствии с требованиями ГОСТ 8269—76, ГОСТ 22132—76 и ГОСТ 8267—82, показали, что гранитогнейсы и амфиболиты пригодны как сырье для получения: обыкновенного бутового камня марок 1000—1200; щебня, марок 800, 1000, 1200, для обычного армированного, и неармированного бегона марок 300—400, подвергающихся замерзанию и насыщенностью водой; для получения строительного бетона марок 400—500 на цементе марки 500; щебня для верхнего слоя щебеночного и асфальтового покрытий дорог 3—4 класса; щебня для балластного слоя ж.-д. путей.

Положительными качествами амфиболитов и гранитогнейсов являются: высокое содержание кварца, отсутствие гнездовых скоплений слюды, мелкозернистая, реже среднезернистая структура и отсутствие коры выветривания.

Отрицательные качества амфиболитов и гранитогнейсов заключаются в наличии ксенолитов и полосчатой структуры, обусловленной скоплением различных минералов и чешуек биотита.

По физико-механическим свойствам гранитогнейсы и амфиболиты имеют практически одинаковые показатели, что позволяет вести добычу валовым способом. Разработка щебня производится путем дробления и сортировки по фракциям 0—5 мм — отсев щебня, щебень 5—20 мм, 3—20 мм, 20—40 мм. Марка щебня 800—1200. Морозостойкость 200—300 МРЗ. Механическая прочность пород характеризуется следующими усредненными показателями (МПа): в сухом состоянии 186, в водонасыщенном 182,5, после 100 циклов замораживания 174.

Запасы месторождения оценивались в количестве 1124 тыс. м³ до отметки +3 м.

Гидрогеологические условия месторождения изучены довольно детально. Несмотря на значительное количество выпадающих атмосферных осадков, породы продуктивной толщи практически безводны.

Почти повсеместно гранитогнейсы перекрыты чехлом четвертичных отложений (глины, суглинки), что затрудняет инфильтрацию атмосферных осадков.

Благодаря рельефу местности выпадающие осадки скатываются по склонам в море. Во избежание затопления карьера, вдоль берега Онежской губы оставлен целик шириной 80 м. С восточной стороны карьер практически огражден от вод целиком коренных пород и отвалом вскрыши. Обводненность четвертичных отложений незначительна. Гидрогеологические условия разработки месторождений открытым способом благоприятные.

Полезное ископаемое отрабатывается одним карьером до отметки +3 м. Все рабочие горизонты связаны транспортными съездами. Разработка ведется с применением сплошной однобортной продольно-поперечной системы. Вскрышных уступов один, обычных два. Разработка начата в южной части месторождения. Карьер продвигается с юга на север. Месторождения в южной части в значительной степени обнажены. Мощность продуктивной толщи здесь от 20 до 35 м при вскрыше от 2—20 м.

В северной части мощность вскрыши от 4,4 до 8,5 м, при мощности продуктивной толщи от 12 до 18 м. Отношение объема вскрышных пород к продуктивной толще в южной части — 1:12, в северной — 1:35.

Рыхление пород полезной толщи проводится с применением буровзрывных работ (скважинные заряды, шпуровые заря-

ды). Рыхление мерзлой вскрыши бульдозером. Рекультивационные работы на карьере не выполнялись, ввиду отсутствия отработанных площадей.

Транспортировка полезного ископаемого выполняется автотранспортом. Вскрыша тоже автотранспортом перемещается во внешний отвал.

Кирик-Кордонское месторождение в Красноярском крае сложено метаморфическими сланцами протерозоя, среди которых мраморы залегают в виде очень крупной линзы длиной до 18 км и мощностью от 400 до 1000 м, падающей на юго-запад под углом 70—75°. На разведанном левобережном участке месторождения выявлено два пласта мраморов: 1) белых и светлокремовых (мощностью до 400 м); 2) розовых, серых и полосчатых (до 500 м). Среди мраморов встречаются дайки диабазов. Глубина зоны выветривания 5—11 м. Запасы разведанного участка составляют около 25 млн м³.

4.14. КАРБОНАТНЫЕ ПОРОДЫ

Общие сведения

К карбонатным породам относят известняки, мрамор, мел, мергели, доломиты, травертин, гажу, магнезиты и сидериты. В данном разделе рассматриваются все карбонатные породы, кроме магнезита и сидерита, имеющих специфическое использование.

Известняки — осадочная горная порода, состоящая преимущественно из кальцита, изредка из арагонита, содержащая примеси обломочного материала, глины, органического вещества, кварца, опала, халцедона, пирита, оксидов железа, сидерита, глауконита, фосфорита и др. Они обычно твердые и плотные. Их средняя плотность 2,6—2 т/м³ (у ракушечников 1,2—1,5 т/м³), пористость разная, прочность 200—300 МПа, чаще 30—80 МПа. Чистый известняк состоит из СаО (56,04 %) и СО₂ (43,96 %).

Мрамор — перекристаллизованный в результате метаморфических процессов известняк, имеющий гранобластовую структуру.

Мел — разновидность известняка, представляющая собой белую однородную массу, слабосцементированную, мажущую породу. Он состоит из остатков скелетов и защитных форм

преимущественно планктонных и донных морских организмов, прошедших стадию цементации порошковатым кальцитом химического осаждения.

Средняя плотность мела 1,5—1,6 т/м³, пористость 40—50 %, естественная влажность до 20—35 %, прочность низкая — в сухом состоянии не более 5 МПа.

Мергель — карбонатно-глинистая порода, содержащая 25—50 % глинистого материала.

Доломит — карбонатная порода, в которой содержание минерала доломита преобладает над кальцитом. В чистом доломите содержится (в %): CaCO₃ — 54,35, MgCO₃ — 45,65 или CaO — 30,41, MgO — 21,86, CO₂ — 47,73. По физико-механическим свойствам доломит близок к известняку. Между доломитами и известняками существует непрерывный ряд переходных карбонатных пород, крайними членами которых являются чистые известняки и чистые доломиты.

Травертин — (известковый туф) — легкая пористая порода, образовавшаяся в результате осаждения карбоната кальция из горячих или холодных источников.

Гажса — рыхлая, рассыпчатая порошкообразная масса углекислого кальция, отложенная в озерно-болотных водоемах в результате выпадения CaCO₃ из растворов.

Структурно-текстурные особенности карбонатных пород чрезвычайно разнообразны. Окраска, обусловленная количеством и составом примесей, изменяется от белой и серой до черной и может быть практически любой.

Карбонатные породы по объему добычи и потребления среди нерудных полезных ископаемых сравнимы лишь с песчано-гравийными материалами. Ежегодно в мире их добывается и перерабатывается около 5 млрд т.

Структура потребления карбонатных пород в разных странах примерно одинаковая. 70—80 % добываемого материала используется в строительстве, остальное — в других отраслях промышленности (стекольная 0,5 %, флюсовые известняки 6,4 %, химическая 2,3 %, производство сахара 2,5 %, целлюлозно-бумажная 0,2 %) и сельском хозяйстве, в основном, для известкования кислых почв.

Основные требования к карбонатным породам, используемым в качестве строительного камня приведены в табл. 4.2. Для производства цемента используются карбонатные породы содержащие не менее 40 % CaO, не более 3,8 % MgO, не более

Таблица 4.2.

Требования к качеству различных видов строительного камня из карбонатных пород

Назначение	Размер блоков и кусков, м ³ , или зерен, мм	Прочность на сжатие, МПа, не менее	Дробимость в цилиндре по потере массы, % не более	Морозостойкость, количество циклов, не менее	Коэффициент размягчения, не более	Средняя плотность, кг/м ³ не менее	Количество глинистых частиц по массе, % не более
Камни стеновые	а) 0,022 б) 0,1	0,4—5,0 обычно до 40	—	10—15	0,5—0,7	1500—2300	—
Камни облицовочные: мрамор	0,01—8 0,01—6	40 5—20	—	25	0,7	—	—
Камни бутовые	150—500	обычно 10—20 10—20, обычно 10—40	—	25, реже 15 15, редко 25	0,65—0,7 0,7	1800—2300 1800	— 2—10
Щебень	5—10 10—20 20—40 40—70 иногда крупнее	20—80 иногда 10	10—35	15—50, редко 200	—	1800—2400	1—6
Песок	0,14—5	40, реже 30	—	15—25	—	—	1—5, редко 29
Дробленый Крошка	0,5—5—10	40, реже 20—60	19—28	25—50, редко 100	—	—	1—5
минеральная Порошок	10—20 0,071	—	редко 45	—	—	—	—
минеральный							

1,2 % SO_3 , содержание SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 должно обеспечивать необходимые значения коэффициента насыщения K_N , силикатного M_S и глиноземного M_A модулей.

$$K_N = [\text{CaO} - (1,65 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,35 \text{ Fe}_2\text{O}_3 + 0,7 \text{ SO}_3)] : 2,8 \text{ SiO}_2$$

удовлетворяет требованиям промышленности, в случае, если его значения изменяются от 0,8 до 0,92.

$$M_S = \text{SiO}_2 : (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$$

силикатный модуль может иметь значения от 1,2 до 3,5.

$$M_A = \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Fe}_2\text{O}_3$$

глиноземный модуль удовлетворяет требованиям при значениях от 1 до 2,5. Оптимальными считаются характеристики с максимальными числовыми значениями, т.е. соответственно 0,92, 3,5 и 2,5. Для получения такого клинкера с допустимым количеством примесей (до 3,3 %) сырьевая смесь из карбонатных и глинистых пород должна содержать (в %): CaO 42,2, SiO_2 14,1, Al_2O_3 3,1, Fe_2O_3 1,6.

На 1 т клинкера расходуется около 1,5 т известняка или 1,6 т мела, или 1,8 т мергеля. Для производства белого и цветного цемента в карбонатном сырье лимитируется количество красящих оксидов железа (до 0,35 %) и марганца (до 0,04 %). Содержание CaO принимается не менее 60—54 %.

Для производства строительной извести, необходимой для приготовления строительных растворов и бетонов, а также используемой при выпуске силикатного кирпича и блоков, используются известняки, доломиты, мел и мергелистые разности этих пород.

Для производства воздушной извести пригодны карбонатные породы с содержанием CaCO_3 не ниже 47 % и MgCO_3 не более 5 %, для изготовления гидравлической извести — породы содержащие не менее 72 % CaCO_3 и 8 % MgCO_3 .

При производстве стекла используются известняки (содержание CaO не менее 52 %, MgO не более 2,5 %); доломиты (CaO не более 34 %, MgO не менее 18 %); мел (CaCO_3 не менее 90 %).

Известняки используются в черной и цветной металлургии в качестве флюсов (содержание CaO не менее 52 %, MgO не более 1,5 %, SiO_2 не более 3 %, минимальное количество серы и фосфора) и для получения извести, применяемой при обогащении руд. Единых требований к качеству известняков для этих

отраслей промышленности нет. Для каждого направления их использования разработаны местные стандарты и технические условия.

Доломиты применяются для производства огнеупоров, заправочного материала, доломитового кирпича, реже — в качестве флюсов. При решении вопросов об использовании доломитов также руководствуются местными регламентирующими техническими условиями.

В химической промышленности используются известняки с различным содержанием CaO . Так, при производстве азотных удобрений, полимеров и в гидролизных процессах применяются известняки с содержанием CaO не ниже 52 %; для производства соды и карбида кальция — с содержанием CaO не менее 53 %, а также мел (не менее 54 % CaO); при получении гидроксида кальция и химически-осажденного мела — особо чистые известняки (не менее 54,8 % CaO). Основные характеристики карбонатных пород для нужд химической промышленности регламентируются ГОСТами и ТУ.

В сельском хозяйстве используются известняки, доломиты, мергелистые известняки, и мел с содержанием $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ не ниже 85 %. Они применяются в молотом виде для нейтрализации кислых почв и в качестве минеральной подкормки для животных и птиц. В сырье, предназначенном для минеральных подкормок, лимитируется содержание фтора — до 0,15 %, мышьяка — до 0,012 %, свинца — до 0,008 %. Требования к качеству для сельского хозяйства регламентируются ГОСТ 14050-78, ОСТ 21-37-78 и ТУ 2-9-5-72.

Мел, мрамор, доломит и известняк в качестве наполнителя применяются в целлюлозно-бумажной и резиновой промышленности — в основном мел с содержанием $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ не менее 98,2. В этих случаях карбонатные породы не должны содержать красящих веществ.

Большинство месторождений карбонатных пород разрабатывается открытым способом. Подземная отработка ведется редко. Как правило, перерабатывающие заводы строятся вблизи месторождений.

Запасы карбонатного сырья в мире практически не ограничены. В СНГ запасы его превышают 20 млрд т, из которых около 75 % сосредоточено в европейской части России. Мировая добыча карбонатных пород составляет около 5 млрд т и осуществляется в наибольших масштабах в СНГ, США, Японии и Германии. Цена 1 т известняка варьирует от 1 до 3 долл.

Типы промышленных месторождений

Основная масса карбонатных пород имеет осадочное происхождение. Осадочные месторождения по условиям образования разделяют на континентальные (играют второстепенную роль) и морские (главные). По геолого-структурным признакам среди осадочных месторождений различают геосинклинальные (складчатых областей, в т. ч. древних щитов современных платформ), платформенные и переходные (краевых, межгорных прогибов и внутренних впадин).

Геосинклинальные месторождения связаны с карбонатными, флишевыми, осадочно-вулканогенными и терригенными формациями. В их пределах карбонатные породы (известняки, доломиты, мраморизованные разновидности, реже мергели) слагают многочисленные выдержанные мощные (до сотен и тысяч метров) пласты и толщи. Для геосинклинальных месторождений и бассейнов характерны линейная ориентировка, развитие интенсивных складчатых и разрывных нарушений, проявление магматизма и метаморфизма. Такие месторождения известны во многих регионах СНГ — на Западном Урале, в Кузбассе, на Алтае, в Крыму, на Кавказе (известняки), на Южном и Северном Урале, Енисейском кряже (доломиты).

К геосинклинальному подтипу принадлежат Новороссийские месторождения известняков и мергелей. Здесь карбонатные отложения образуют толщу мощностью 250—300 м, протяженностью до 50 км. Наибольшее практическое значение имеет подсвита «натуралов» — мергелей и глинистых известняков мощностью до 60—70 м, которая состоит из высококачественного природного цементного сырья.

Платформенные месторождения тяготеют к карбонатным, сульфатным, галогенным, терригенным, сланценосным и угленосным формациям средних частей платформенного чехла. Карбонатным породам свойственна небольшая мощность — от десятков до сотен метров. В их составе преобладают известняки и доломиты. Месторождения данного подтипа широко развиты в пределах Восточно-Европейской и Сибирской платформ.

Переходные месторождения приурочены к карбонатным, соленосным, терригенным и угленосным формациям краевых и межгорных прогибов и внутренних впадин. Карбонатные отложения имеют переменную мощность, представлены как отдельными слоями, так и мощными толщами известняков, доломитов, мергелей и переходных разновидностей. Месторождения этого

подтипа распространены в пределах Предуральского, Донецкого, Ангаро-Ленского прогибов, впадин на Восточно-Европейской и Сибирской платформах. Крупнейшее в Европе Еленовское месторождение известняков и доломитов (Донецкий прогиб) имеет протяженность до 50 км и мощность около 350 м.

4.15. ПЕСОК И ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Общие сведения

Песок, гравий и другие обломочные породы (галечник, глыбово-щебеночный материал) состоят из несцементированных обломков и зерен различных минералов, обломков горных пород, имеющих различные формы и степень окатанности и характеризуются гранулометрическим и вещественным составом.

Единой общепринятой классификации обломочных пород по гранулометрическому составу не существует. В большинстве отечественных и зарубежных классификаций к пескам относят зерна минералов и горных пород с размером от 0,05 до 2 мм, а к гравию — от 2 до 10 мм. Обломки размером от 10 до 100 мм называют галечником, а крупнее 100 мм — валунами. При рассмотрении природных песков и гравия в качестве строительного сырья принято для оценки их качества руководствоваться ГОСТ 24100—80, согласно которому к пескам относят обломки горных пород и минералов размером 0,05—5 мм, к гравию — 5—70 мм и к валунам — более 70 мм. С учетом требований этого ГОСТа природная смесь, в которой обломков, соответствующих по размеру гравию, содержится менее 10 % от общей массы, называют песчаной породой, если более 10 % — гравийно-песчаной (чаще употребляют название песчано-гравийной). Порода, содержащая более 10 % гравия и 5 % валунов, называется валунно-гравийно-песчаной. При ее разработке добытый материал разделяют на песчаную, гравийную и валунную составляющие. Гравий сортируется по фракциям 5—10, 10—20, 20—40 и 40—70 мм.

По вещественному составу пески подразделяются на мономинеральные, полиминеральные и олигомиктовые, состоящие обычно из обломков 2—3-х различных минералов. Преобладают в песках кварц и полевые шпаты. В качестве примесей могут быть слюды, карбонаты, гипс, роговая обманка, магнетит, гра-

наты, а также пылеватые намывные глинистые частицы, органика и мелкие обломки горных пород. Гравий и валуны состоят из обломков горных пород — гранита, гнейса, кварцита, различных сланцев, песчаников и др.

Применение песков и песчано-гравийных материалов в народном хозяйстве основано на разнообразных физических свойствах этих обломочных пород. Основная часть (в СНГ 95 %) добываемых песков и гравия используется в строительной промышленности в качестве заполнителей бетонов, а пески, кроме того, для получения строительных растворов. Особо чистые кварцевые пески применяются в стекольной, керамической, металлургической промышленности, а также в производстве ферросилиция, карбида кремния и др.

Качество заполнителей бетона определяется их физико-механическими свойствами, гранулометрическим составом, формой и петрографическим составом зерен, наличием примесей. Поскольку масса заполнителей достигает 80 % от общей массы бетона, от их физико-механических показателей в основном зависят и свойства бетона. Наиболее пригодны для этих целей кварцевые пески и гравий, состоящий из обломков кварца и изверженных пород. Вредной примесью являются зерна опала и других аморфных модификаций кремнезема, которые вступают в реакцию со щелочами цемента, образуя разбухающие коллоидные соединения. Существенно влияет на прочность бетона степень выветренности зерен и обломков.

Гранулометрический состав гравия обуславливает подвижность бетонной смеси и расход цемента. Гравий должен состоять как из крупных, так и мелких фракций и характеризоваться равномерным составом, обеспечивающим наименьший объем пустот, а следовательно, минимальный расход цемента. Он не должен содержать более 15 % (по массе) зерен пластинчатой (лещадной) или игольчатой формы и более 10 % зерен слабых пород (пластинчатые и игловатые зерна гравия обладают меньшей прочностью, чем округлые). Прочность бетона зависит от характера поверхности зерен. Так, слабоокатанный гравий с шероховатой поверхностью имеет более высокое сцепление с цементом, чем гладкий.

ГОСТ в зависимости от назначения определяет следующие показатели гравия: дробимость при сжатии в цилиндре (заполнитель бетона), истираемость в полочном барабане (для строительства автодорог), сопротивление удару на копре (балласт

для железных дорог). Песок со средней плотностью более 1200 кг/м³ и размером зерен менее 5 мм, предназначенный для заполнения бетонов, строительных растворов, строительства железных и автомобильных дорог, должен отвечать требованиям ГОСТа по гранулометрическому составу, количеству пылеватых, глинистых и илистых частиц, слюды, сернистых соединений, органических веществ и др.

Для кварцевых песков, применяемых в стекольной и керамической промышленности, важнейшим показателем качества является химический состав. Содержание кремнезема должно превышать 90 %. Лимитируется также содержание оксида кальция, глинозема и элементов-хромофоров: железа, хрома, титана, ванадия, никеля. Высокое содержание кремнезема требуется для песков, используемых в производстве ферросилиция, карбида кремния, жидкого стекла, а также в качестве абразивных и фильтровальных материалов. В формовочных песках содержание кремнезема должно быть не менее 97 %, глинистой фракции не более 1,1 %, щелочных и щелочноземельных элементов не более 1 %, Fe₂O₃ не более 0,6 %.

По масштабу запасов (в млн м³) песчано-гравийные месторождения и месторождения строительных песков разделяют на крупные (соответственно > 30 и > 15), средние (10—30 и 10—15), мелкие (< 10). Мировая добыча песка и гравия превысила 8,3 млрд т, в т.ч. в США около 1 млрд т, в СНГ — 0,5 млрд т. В связи с ограниченностью запасов кварцевых песков в качестве их заменителей используются песчаники, кварциты, жильный кварц и др. Разработка песка и гравия проводится в карьерах гидромониторами или под водой плавучими землесосными снарядами.

Типы промышленных месторождений

Промышленное значение имеют песчано-гравийные месторождения выветривания и обломочные осадочные.

Месторождения выветривания представлены элювиальными и делювиальными кварцевыми песками, развитыми в коре выветривания песчаников или кварцитов. Такие месторождения имеют небольшие запасы. Они известны в Прибайкалье (Харгинское), на Урале (Тактыбаевское).

Осадочные обломочные месторождения песков и гравия разделяются на аллювиальные, ледниковые (моренные и флювиогляциальные), эоловые, морские и озерные. Современные и древние аллювиальные месторождения — русловые, долинные

и террасовые залежи линзовидной формы — имеют длину до 1 км, мощность до десятков метров. Пески по составу полиминеральные, характеризуются разной крупностью и степенью сортировки.

Моренные отложения образованы несортированным песчано-гравийно-валунным материалом с примесью глины, суглинка или супеси. Флювио-гляциальные отложения являются полимиктовыми по составу, песчаными, песчано-гравийно-галечниковыми, грубосложненными, с разной степенью сортировки.

Эоловые отложения представлены дюнными отсортированными песками морских побережий и пустынных областей. Пески мелко- и среднезернистые.

Морские и озерные отложения разделяются на современные и древние, а по геоморфологическому признаку — на пляжевые, косовые, береговых валов, подводные прибрежные и шельфовые, террасовые. Морские пески хорошо отсортированы, обладают разнообразным минеральным составом — от полимиктового глинистого до чисто кварцевого. Озерные пески отличаются от морских составом органического вещества и меньшим размером залежей.

Аллювиальные песчано-гравийные месторождения широко представлены на Северном Кавказе, в Средней Азии, в долинах крупных равнинных рек. Моренные и флювиогляциальные месторождения разрабатываются в северных и центральных районах европейской части России. На побережьях озер и морей имеются отложения песка и гравия, эксплуатируются древние террасы вдоль побережий Белого, Балтийского, Каспийского морей и Онежского озера.

Кварцевые формовочные и стекольные пески образуют промышленные залежи только на платформах. Около 60 % таких месторождений расположено в пределах Восточно-Европейской платформы и связано с древними морскими и озерными отложениями. Крупнейшими месторождениями кварцевых песков являются Часовьярское и Авдеевское (Донецкая обл.). Глебовское и Гусаровское (Харьковская обл.), Миллеровское (Ростовская обл.), Ташлинское (Ульяновская обл.), Латнинское (Воронежская обл.), Люберецкое (Московская обл.).

Горно-геологические условия песчано-гравийных месторождений

Бежицкое месторождение силикатных песков расположено на территории Бежицкого района г. Брянска, в 6 км к северо-

западу от города, на левом берегу р. Десны. Месторождение в геоморфологическом отношении приурочено к крайним северо-западным склонам Среднерусской возвышенности, расположено на пойменной и частично на I надпойменной террасе Полесо-Приднепровской низменности.

В геологическом строении участка принимают участие четвертичные и меловые отложения. К четвертичным отложениям относятся аллювиальные пески, торф, суглинки. К меловым — темно-серые, черные глины.

К полезной толще относятся аллювиальные пески желтые, желтовато-серые разнозернистые, преимущественно мелкие, иногда с содержанием гальки и гравия до 10 %. Пески в основном обводненные. Мощность сухой толщи песков незначительна. Подстилающими породами являются аллювиальные крупнозернистые пески, с содержанием гравия более 10 %, местами меловые темно-серые и черные глины.

К вскрышным породам относятся почвенно-растительный слой, торф, суглинки. Общая мощность вскрышных пород колеблется от 0,7 до 2,6 м.

По минеральному составу песок относится к кварцевому с незначительной примесью полевых шпатов. Крупные зерна представлены обломками глауконитовых песчаников. По химическому составу песок характеризуется наличием кремнезема в пределах 94 %. Содержание слюды незначительно. Содержание органики превышает нормы. По гранулометрическому составу пески относятся к мелким и очень мелким (содержание частиц размером более 0,14 мм от 38 до 97 %, размером 0,08 мм от 71 до 86 %). Средняя плотность песков находится в пределах 1,2—1,4 г/см³.

На месторождении развит безнапорный водоносный горизонт, приуроченный к аллювиальным пескам пойменной и I надпойменной террас левого берега р. Десны.

Мощность водоносного горизонта колеблется от 14,1 до 16 м. Абсолютные отметки зеркала грунтовых вод колеблются от +146 до +147 м. Урез воды в р. Десне составляет 146,2 м. Направление потока грунтовых вод в сторону р. Десны. Водоупором являются темно-серые и черные глины.

Проведенные откачки установили дебит водоносного горизонта на месторождении от 43,2 до 86,4 м³/сут. Коэффициент фильтрации составляет 0,66 м³/сут. Общий приток воды в карьер при полной его отработке составил 44,22 м³/сут.

Режим водоносного горизонта тесно связан с режимом р. Десны. Уровень современного аллювия зависит от уровня воды в р. Десна.

По результатам физико-химических, технологических и ползу заводских испытаний установлено, что пески Бежицкого месторождения пригодны для производства силикатного кирпича. Запасы силикатных песков месторождения по состоянию на 1.01.93 г. по категориям составляют (в тыс. м³): А — 2402; В — 3294; С₁ — 11868; А + В + С₁ — 17564. Месторождение разрабатывается гидромеханизированным способом.

Подгорненское гравийно-песчаное месторождение расположено в Дмитровском районе Московской обл. в 50 км к северу от г. Москвы, в 8—10 км к западу от ж.-д. станции Икша Московской железной дороги, на правом берегу р. Волгуши. Общая протяженность месторождения с юга на север около 8 км, ширина разведанной площади до 1,7 км. Общая площадь 304 га. В составе месторождения выделяются три участка: Центральный, Северный и Южный, площади которых соответственно равны: 157, 106 и 40 га.

Гравийно-песчаное месторождение связано с отложениями четвертичного возраста. Четвертичные отложения залегают на размытой поверхности пород каменноугольного, юрского и мелового возраста. Они имеют повсеместное распространение и представлены серией образований, включающих среднечетвертичные ледниковые и водоледниковые отложения, верхнечетвертичные аллювиальные, озерно-болотные и покровные отложения и современные осадки. Дочетвертичный рельеф в основном соответствует современному, но характеризуется большей амплитудой изменения абсолютных отметок в залегании разновозрастных пластов. На площади месторождения выделено несколько палеодолин. Одна из них — Центральная, с погружением до 120 м, проходит под современной долиной р. Волгуши. Общая мощность четвертичных отложений колеблется от нескольких метров и достигает максимально 143 м. На водоразделах преобладают мощности 30—50 м, в палеодолинах 70—90 м.

Ледниковые образования представлены суглинками днепровской и московской морен. Каждая из морен подстилается флювиогляциальными и озерно-болотными отложениями преимущественно песчано-гравелистого состава, являющихся коллектором для межпластовых вод. Формы тел ледниковых обра-

зований линейно-ориентированные, редко прерывистые, деформированные по высотным отметкам. Так, верхняя московская морена изменяет отметки кровли суглинков от +163 м в долинах водотоков до +205 м на водоразделах. Мощность ледниковых образований по площади изменяется от 2 до 12 м. Литологический состав невыдержанный. Суглинки часто переходят в песчаные разности и наоборот. Они содержат гравийно-валунный материал в среднем до 15—20 % известняка, кремня, гранита и кварцита.

Современные осадки средней мощности до 5 м песчаноглинистого состава включают илистые породы и торф.

Межморенные и водоледниковые отложения, составляющие продуктивную толщу, характеризуются изменением мощности: на участке Центральный от 2,1 до 30,6 м, на участке Северный от 3,8 до 20,9 м, на участке Южный — от 2 до 29,2 м. Средние значения для них определены соответственно 12,48, 10,07; 10,84 м. Мощность вскрыши изменяется от 0,6 до 14 м, средняя по участкам 5,2—6,3 м.

Продуктивная толща выполняет древнюю ложбину стока ледниковых вод, унаследованную р. Волгушей. Отсутствуют они лишь в восточной части обследованной площади, за пределами ложбины, где верхняя морена залегает непосредственно на нижней, местами на породах мелового возраста. Представлены межморенные отложения песчаными и гравийно-песчаными образованиями с неравномерным содержанием гравия. Содержание валунно-гравийного материала в толще характеризуется большей неравномерностью, как по разрезу, так и по площади. Оно колеблется от 11,5—61,5 %, среднее по участкам 23,4—27,2 %. Гравий представлен известняком, гранитом, кремнием, доломитом, песчаником, сланцами и гнейсами, изверженными породами основного состава. По дробимости гравий и щебень из гравия имеет марки Др12—Др16, по истираемости И—П.

Гравий преимущественно мелкий и средний, реже крупный, окатанный и угловатый и представлен в основном мелкими и средними фракциями, в меньшем количестве присутствует крупный гравий, в небольшом количестве — валуны. Содержание валунов обычно не превышает 1 %, редко увеличивается до 2—3 %, в отдельных случаях до 5—7 %. По размеру преобладают валуны мелкие — до 200 мм, редко встречается скопление более крупных валунов (до 500—700 мм).

Окатанность гравия и валунов в основном средняя, реже встречаются зерна хорошо окатанные или угловатые. В составе гравия преобладают осадочные породы (известняк, доломит, песчаник, кремень), из изверженных в значительном количестве встречается гранит, реже породы основного состава, в сравнительно небольшом количестве присутствуют метаморфические породы (кварцит, сланцы, гнейсы). Пески песчано-гравийных образований — кварцевые с примесью карбонатов, полевого шпата, разнотерные. Безгравийные пески в продуктивной толще встречаются на различных глубинах и имеют различные мощности (от долей метра до 10—15 м и более) и площади распространения. Небольшое распространение безгравийных песков отмечается в нижней части межморенных отложений. Пески кварцевые, желтовато-сероватых тонов, местами с коричневым, буроватым и зеленоватым оттенками, разнотерные, с преобладанием средне- и мелкозернистых, в различной степени глинистые, в основном умеренно и слабо глинистые, прослоями сильно глинистые. Иногда встречаются прослойки глинистых пород-суглинков, супесей, глин. Мощность их 0,2—3,7 м. Наибольшее количество прослоев встречено на Северном участке. В периферийных частях мощность продуктивной залежи уменьшается до нескольких метров и полностью выклинивается.

Гидрогеологическими исследованиями установлено распространение на площади месторождения большого числа водоемов, водотоков, водоносных горизонтов и комплексов. Их наличие предопределило направленность работ при детальной разведке месторождения. В результате этого выделенные участки первоочередной разработки оказались на площадях, располагающихся вне источников обводненности, как поверхностных, так и подземных. Однако, в будущем при необходимости прироста запасов полезного ископаемого возникнет необходимость в освоении обводненной части месторождения.

Наличие в геологическом разрезе глинистых пород, включающих обводненные линзы гравелистых песков, предопределяет высокую степень вероятности проявления локальных оползневых явлений, суффозии и образования оплывин. Для предотвращения этих процессов и явлений должны приниматься меры к исключению переувлажнения пород путем создания дренажных канав и сохранения расчетных параметров бортов

прироста запасов полезного ископаемого возникнет необходимость в освоении обводненной части месторождения.

Наличие в геологическом разрезе глинистых пород, включающих обводненные линзы гравелистых песков, предопределяет высокую степень вероятности проявления локальных оползневых явлений, суффозии и образования оплывин. Для предотвращения этих процессов и явлений должны приниматься меры к исключению переувлажнения пород путем создания дренажных канав и сохранения расчетных параметров бортов карьеров — углов откосов и высоты уступов. Для их определения получены следующие инженерно-геологические характеристики пород вскрыши и полезного ископаемого.

Для суглинков московской морены: плотность грунта 2,1—2,02 г/см³, плотность минеральных частиц 2,71—2,72 г/см³, естественная влажность 14—19,3 %, число пластичности 11,3—13,8; угол внутреннего трения 16—21 град., сцепление 0,05—0,06 МПа; модуль деформации 15,3—27,9 МПа.

Для супесей: плотность грунта 1,92—1,8 г/см³, плотность минеральных частиц 2,62—2,68 г/см³, естественная влажность 21—18 %, число пластичности 4,7—5; угол внутреннего трения 35—21 град., сцепление до 0,01 МПа, модуль деформации 14 МПа.

Пески месторождения пригодны для строительных работ. Запасы месторождения оценены по категориям В(12669 тыс. м³) и С₁ (22049 тыс. м³).

4.16. ГЛИНЫ И КАОЛИНЫ

Общие сведения

Глинистыми породами называется группа пород, состоящих преимущественно из глинистых минералов — каолинита, гидрослюда, монтмориллонита и палыгорскита, имеющих размер не менее 0,005 мм (по некоторым классификациям менее 0,002 мм). По минеральному составу различают коалинитовые, монтмориллонитовые, гидрослюдистые, палыгорскитовые и полиминеральные глинистые породы. Главными химическими компонентами глинистых пород являются SiO₂, Al₂O₃, H₂O, в подчиненных количествах присутствуют TiO₂, Fe₂O₃, MnO,

10 % — супесью. Помимо глинистых фракций, называемых тонкими, в этих породах могут содержаться алевролитовые, размером 0,1—0,01 мм и песчаные, размером 0,1—2 мм фракции.

В зависимости от степени цементации уплотнения среди глинистых пород выделяют глины, аргиллиты и глинистые сланцы. Глины — несцементированные связанные осадочные горные породы, способные с водой образовывать тесто, формироваться и сохранять приданную ему форму. Обожженное в огне тесто приобретает каменную твердость. Аргиллиты — камнеподобные осадочные горные породы, имеющие аналогичный минеральный состав и не размокающие в воде. Глинистые сланцы — метаморфические плотные, сланцеватые породы, состоящие из гидрослюда, хлорита, каолинита, реликтов, других глинистых минералов, кварца, полевого шпата и других неглинистых минералов.

Среди глинистых пород выделяют каолины, огнеупорные глины, бентониты и палыгорскитовые глины.

Каолины — глинистые породы, состоящие не менее чем на 50 % из минералов группы каолинита (каолинит, диксит). При содержании менее 50 % каолиновых минералов породы называются каолиносодержащими, например, каолиносодержащими песками.

Огнеупорные глины представляют собой глинистое сырье, состоящее существенно из минералов группы каолинита и минералов свободного глинозема, характеризующихся большой степенью дисперсности и высокой температурой плавления. В них содержится существенно меньше, чем в каолинах оксидов и гидроксидов железа, кварца, сульфидов и карбонатов, понижающих огнеупорность.

Бентониты — тонкодисперсные глины, состоящие не менее чем на 60 % из минералов группы монтмориллонита. Глины с меньшим, но преобладающим содержанием монтмориллонита называют бентонитоподобными. В качестве примесей в бентонитах и бентонитоподобных глинах встречаются смешанно-слоистые минералы: гидрослюда, палыгорскит, цеолиты, галлуазит и др. По составу обменных катионов бентониты подразделяют на щелочные и щелочноземельные, которые по технологическим характеристикам уступают первым и требуют до использования «облагораживания» — обработки натриевыми препаратами.

Палыгорскитовые глины — породы, состоящие преимущественно из палыгорскита — минерала с резко выраженной ани-

зотропией. Он представляет собой водный силикат алюминия и магния слоисто-ленточной структуры, с игольчато-волокнистым габитусом кристаллов и хорошей спайностью, что предопределяет его специфические физико-химические свойства — избирательные адсорбционные, гидрофильные, каталитические и др.

Удельная площадь поверхности минералов, образующих эти глины и существенно определяющих их свойства, характеризуется следующими значениями: палыгорскит — более 900 м²/г, монтмориллонит — 800 м²/г, иллит — 80 м²/г, каолинит — 10 м²/г.

Сложный вещественный и гранулометрический состав глинистых пород предопределяет разнообразие их свойств, позволяющих проводить оценку глинистого сырья в целях его использования. Эти свойства называют технологическими. К ним относятся: пластичность, огнеупорность, спексаемость, вспучивание, набухание, усушка, адсорбционная способность, связующая способность, укрывистость, окраска, способность образовывать устойчивые суспензии с избытком воды и химическая инертность.

Пластичность — способность глинистого теста формироваться и сохранять приданную ему форму при сушке и обжиге. Пластичность характеризуют числом пластичности (M), которое определяется как разность между влажностью, соответствующей нижней границе текучести глины и влажностью, соответствующей границе раскатывания. Пластичность супесей менее 7, суглинков 7—17, глин — более 17. По степени пластичности глины подразделяют на высокопластичные ($M > 25$) и среднепластичные ($M = 25—15$). Сухарные глины, глинистые сланцы и аргиллиты малопластичны — $M = 3—7$.

Огнеупорность — способность глинистых пород противостоять воздействию высоких температур без существенного размягчения и деформации. Глинистые породы по огнеупорности подразделяют: на огнеупорные с температурой плавления выше 1580 °С, тугоплавкие с температурой плавления ниже 1350 °С. Огнеупорные глинистые породы в своем составе имеют каолинит, гидрослюда, кварц и карбонаты. Лучшие сорта огнеупорных глин содержат SiO₂ — 46,5 %, Al₂O₃ — 39,5 %. Тугоплавкие глинистые породы полиминеральны, содержат глинозема от 18 до 32 %, кремнезема до 60 %, оксидов железа до 6—12 %. Легкоплавкие глинистые породы содержат монтмориллонит, бейделлит, гидрослюда, кварц, слюду. Содержание глинозема в

них не превышает 18 %, кремнезем присутствует в количествах до 80 %, содержание оксидов железа достигает 12 %.

Спекаемость — способность глинистых пород частично расплавляться при температуре ниже, чем температура огнеупорности, а после охлаждения давать плотную массу (черепок). Спекаемость определяется присутствием отдельных минералов, способных плавиться раньше, чем основная их масса. Спекаемость приводит к уменьшению пористости и водопоглощения и проявляется в диапазоне температур от 850 до 1400 °С. Спекаемость характеризуют интервалом температуры спекания от начала процесса до начала вспучивания и деформации, при которой водопоглощение перестает падать. Оптимальный интервал спекания находится в пределах от 100 до 150 °С. Интервал спекания в 30—50 °С приводит к существенной деформации изделий.

Вспучивание — свойство глинистых пород увеличиваться в объеме при обжиге с образованием прочного материала ячеистого строения. Вспучиваются глины, сложенные монтмориллонитом, гидрослюдами и содержащие органику.

Набухание — свойство глинистых пород при их водонасыщении увеличиваться в объеме. Наибольшим набуханием обладают глины, содержащие монтмориллонит, наименьшим — содержащие каолинит.

Усушка — уменьшение размеров глиняного изделия при высыхании. Усадка — уменьшение при обжиге. Измеряют эти показатели в линейных размерах.

Адсорбционная способность — свойство глинистой породы адсорбировать на поверхности слагающих ее частиц ионы и молекулы из окружающей среды (растворов).

Связующая способность — свойство глинистых пород связывать частицы другого непластичного материала и образовывать при высыхании твердую массу. Связующая способность находится в тесной связи с пластичностью и способностью формоваться.

Кроющая способность, или укрывистость — способность окрашенных глин делать невидимым цвет поверхности. Кроющая способность оценивается в граммах на квадратный метр.

Способность глинистых пород образовывать устойчивые суспензии с избытком воды — их свойство препятствовать оседанию попадающих в них твердых более крупных частиц.

Химическая инертность глинистых пород — свойство не вступать в химические соединения с некоторыми кислотами и щелочами.

Глинистые породы применяются практически во всех отраслях народного хозяйства. Они используются в практике горного дела — при бурении скважин, при работе проходческих комбайнов и буровзрывных работах. Глинистые породы необходимы в кожевенной промышленности при обработке кож, а также мехов. Они широко используются при приготовлении вин, безалкогольных напитков, сахара и хлебобулочных изделий. Применяются глинистые породы в текстильной промышленности, в автомобилестроении, при производстве оптики, бумаги, резины, парфюмерных изделий. Они используются в сельском хозяйстве, в животноводстве, в химической промышленности, металлургии и медицине.

Глинистые породы потребляются в естественном, но чаще в обогащенном виде.

Основная масса глинистых пород используется в производстве изделий строительной, грубой и тонкой керамики, огнеупорных материалов, цемента, при производстве керамзита и служит в качестве строительного и гидроизоляционного материала.

В настоящее время единых стандартов к качеству глинистого сырья не существует. Его пригодность устанавливается по возможности получения качественных изделий, удовлетворяющих потребителя и отвечающих действующим нормативам.

В производстве изделий строительной керамики — кирпича, керамических плиток, камня, черепицы и др. используют легкоплавкие, пластичные глинистые породы, содержащие 53—81 % SiO_2 , 7—23 % Al_2O_3 , 2,5—8 % Fe_2O_3 , до 15 % CaO . Содержание песчаных фракций допустимо до 10 %. Вредными включениями являются фракции размером более 3 мм, гипс, карбонаты, содержание SO_3 в количестве более 3 %. Контролируется содержание водорастворимых солей щелочных (до 5 %), щелочноземельных (до 5 %) и редкоземельных (до 2 %) металлов.

При производстве грубой керамики — кислотоупорных изделий, канализационных дренажных труб, плитки для полов, клинкерного кирпича и др. используют тугоплавкие и низкоспекающиеся разновидности огнеупорных глин. Они не должны иметь включений серного колчедана, гипса и железистых соединений.

Содержание карбонатов Са и Mg не должно превышать 3 %. Для производства канализационных труб и половых плиток используют пластичные глины, имеющие низкую температуру спекания и интервал спекания не менее 200 °С. В них регламентируется содержание глинозема, оксидов титана, железа и кальция.

Для изготовления тонкой керамики используют каолиновые с низким содержанием красящих оксидов обогащенные глины. В качестве связующих к ним добавляют беложгущиеся разносты пластичных огнеупорных и бентонитовых глин.

Вредными примесями в глинах для тонкой керамики являются оксиды железа, титана, сернистые соединения, вызывающие вспучивание черепка, а также сульфиды, вызывающие поверхностные и скрытые выплавки.

Пригодность глин для использования в производстве тонкой керамики оценивают по местным нормативным документам, введенным на крупных месторождениях — Артемовском, Николаевском, Никифоровском, Трошковском и Веселовском.

Для производства огнеупорных изделий, применяемых в металлургии и машиностроении используются огнеупорные глины, для которых техническими условиями устанавливаются пределы необходимого содержания Al_2O_3 , требуемая огнеупорность, допустимое содержание Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 и щелочей, понижающих огнеупорность.

Для производства цемента используют легкоплавкие глины, аргиллиты и глинистые сланцы. Допустимое содержание полезных и вредных компонентов определяется с учетом их содержания в карбонатной составляющей цементной шихты. Для обычного портланд-цемента могут использоваться глинистые породы с силикатным модулем n от 2 до 4 и глиноземным модулем P от 1 до 3, где: $n = SiO_2/(Al_2O_3 + Fe_2O_3)$ и $P = Al_2O_3/Fe_2O_3$. Гранулометрический состав глинистой породы должен удовлетворять условиям: содержание фракций крупнее 0,2 мм не должно превышать 10 %, фракций крупнее 0,08 мм, включая фракции крупнее 0,2 мм, не должно превышать 20 %.

При производстве керамзита используются легкоплавкие глины, глинистые сланцы, суглинки и бентонитовые глины, обладающие свойством вспучиваться при нагревании до температуры 1050—1250 °С. Химический и зерновой состав не регламентируются. Пригодность глинистого сырья определяется по степени и интервалу вспучивания при обжиге, по средней плотно-

сти и основным физико-механическим показателям, включая требования к внешнему виду.

Для буровых растворов используют тонкодисперсные, пластичные глины с минимальным содержанием песка, гипса, известняка и растворимых солей, способные образовывать с водой вязкую, долго не оседающую суспензию. Этим требованиям отвечают бентонитовые и палыгорскитовые глины. Основным показателем качества глинистого сырья, предназначенного для приготовления буровых растворов, является выход раствора — количество раствора (в м³) заданной вязкости и плотности из 1 т, а также содержание в нем песка.

Месторождения глин по запасам (в млн т) делятся на крупные (> 20), средние (5—20) и мелкие (< 5). Мировые запасы бентонитовых глин составляют около 2 млрд т (в т. ч. 1,15 млрд т в капиталистических и развивающихся странах), а добыча — 9 млн т (в т. ч. в США — 4 млн т, в СНГ — 2,5 млн т), Запасы каолинов в СНГ достигают 450 млн т, добыча — 4 млн т (в США — более 7 млн т). Мировые запасы огнеупорных глин — 3,4 млрд т, добыча — около 13 млн т. Запасы тугоплавких глин в СНГ превышают 650 млн т, добыча — 2,25 млн т. Цена 1 т каолина в зависимости от качества варьирует от 1 до 160 долл.

Типы промышленных месторождений

Среди месторождений глин наибольшее практическое значение имеют месторождения коры выветривания и осадочные.

Месторождения коры выветривания магматических, метаморфических, реже осадочных, пород по составу разделяются на каолиновые, галлуазитовые, гидроспидиновые и монтмориллонитовые. Главную роль играют остаточные месторождения первичных каолинов, сформировавшихся при выветривании кислых и щелочных пород. Такие месторождения известны на Украине, Урале, в Сибири, Казахстане, на Дальнем Востоке, а также в КНР, Великобритании, Франции, Германии.

Осадочные месторождения возникают при перестроении и диагенезе продуктов размытия кор выветривания. Среди них различают континентальные, лагунные и морские. Легкоплавкие глины образуются во всех обстановках, тугоплавкие и огнеупорные — в озерно-болотных бассейнах и опресненных лагунах. Залежи представлены выдержанными линзами и пластами. По простираннию они прослеживаются на несколько километров при мощности от нескольких метров до первых десят-

ков метров. К этому типу относятся месторождения Донецкой (Часовъярско-Дружковская группа), Воронежской (Латнинское) и Новгородской (Боровичское, Любытинское) областей.

Часовъярское месторождение приурочено к Краматорско-Часовъярской меловой мульде, осложняющей юго-западное крыло Бахмутской котловины, и к эрозионно-тектонической депрессии в зоне перехода северо-восточного крыла Дружковско-Константиновской антиклинали в Бахмутскую котловину. Контур залегания огнеупорных глин в северной и центральной частях месторождения совпадает с очертаниями меловой мульды, а в южной части месторождения — с очертаниями эрозионно-тектонической депрессии. Наиболее высокосортные глины без прослоев песка развиты в центральной части меловой мульды (отработанные участки Днепровский, Западный, Городской, эксплуатируемый Октябрьский, южная часть участка Северного). Пласт глин здесь довольно выдержан, мощность его 3—4 м. В северо-западной части мульды (северная часть участка Северный) мощность его уменьшается до 1,5 м и глины часто заменяются песком. В пределах эрозионно-тектонической депрессии пласт глин имеет сложную гипсометрию и изменчивую (2—8 м) мощность, увеличивающуюся в сторону погружения депрессии до 15 м. Пласт расчленяется на две-три пачки, разделенные песчаными прослоями. Нижняя пачка наиболее мощная. Через все месторождения с юго-востока на северо-запад проходит зона карстообразования, приуроченная к полосе развития писчего мела, залегающего под кайнозойскими отложениями. Огнеупорные глины здесь заполняют карстовые воронки, максимальная мощность — 18 м.

Детальным минералогическим исследованием, выполненным И.Г. Прохоровым, установлено, что минеральный состав неогеновых огнеупорных глин северо-западной части Донбасса довольно изменчив. В нижних горизонтах залежей преобладает каолинит. Вверх по разрезу увеличивается содержание смешанно-слоистых минералов. В верхних горизонтах преобладает слабодегрированная гидрослюда. В глинах иногда встречаются включения левина и гидроксидов железа — вредных примесей.

Качество глин Часовъярского (как и Веселовского и Ново-Райского месторождения) уникально высокое. Они высокодисперсны, пластичны (пластичность до 34), температура спекания

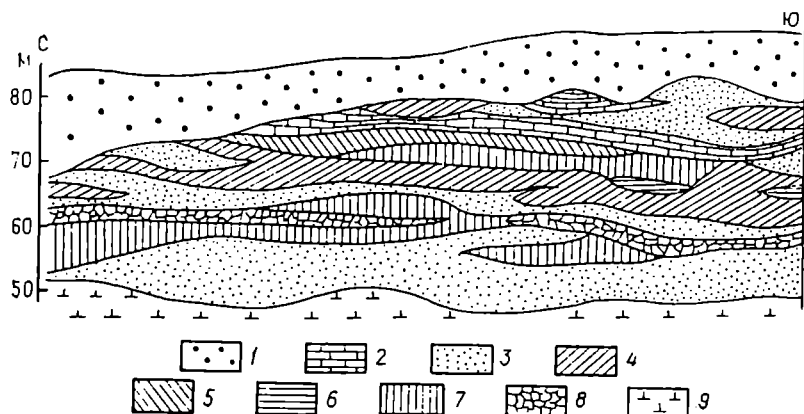


Рис. 4.11. Литологический разрез участка *Большевик* *Боровичского* месторождения огнеупорных глин (по М.Ф. Викуловой с упрощениями):

1 — четвертичные отложения; 2 — известняки; 3 — пески; 4—8 — глины: 4 — серые, 5 — пестрые, 6 — светло-серые, 7 — черные и темно-серые, 8 — сухарные белые и светло-серые; 9 — мергели и глины

низкая, интервал спекания большой, спекаемость сильная, содержание красящих оксидов низкое (в глинах лучших сортов менее 1,3 %). Глины используются в основном для производства огнеупоров, лучшие сорта — в фарфоро-фаянсовой, электро-технической, электронной и других отраслях промышленности.

Боровичское месторождение огнеупорных глин (рис. 4.11) представлено залежами линзовидной формы со средней рабочей мощностью около 2—2,5 м. Глубина их залегания 25—40 м. Глины пластичные (мыленки), полупластичные (полусухари) и непластичные (сухари). По гранулометрическому составу все глины относятся к тонкодисперсным и характеризуются высоким содержанием глинистой фракции с размером частиц менее 0,001 мм (физическая глина). По генезису месторождение является прибрежно-озерным.

Осадочные месторождения бентонитов включают 50 % их запасов в СНГ и обеспечивают 50 % добычи. Пластообразные залежи выдержаны по простиранию; они распространены на площади в десятки и сотни километров; мощность их варьирует от первых до десятков метров. Запасы составляют десятки миллионов тонн. Месторождения этого типа развиты в Поволжье, Средней Азии, на Украине (Черкасское), а также в США.

4.17. САПРОПЕЛИ

Общие сведения

Сапропелями (от греческого сапрос — гнилой, пеллос — ил) называются современные или ископаемые (субфоссильные) отложения континентальных водоемов, сформировавшиеся на их дне в результате накопления продуктов жизнедеятельности низших водяных растений (водорослей) и микроорганизмов (планктон) при незначительной доле высших растений и макроорганизмов. Внешне сапропели имеют вид желеобразной однородной массы сметанообразной консистенции, коллоидальной структуры, на которую сильно влияют минеральные примеси, придающие им характер глинистых, песчанистых или известковых тонкозернистых образований. Окраска сапропелей весьма прихотлива — коричневая, темно-оливковая, темно-серая, черная, серо-желтая, голубоватая, розоватая, красноватая. Цвет указывает на присутствие в сапропелях некоторых органических и неорганических компонентов. Оливковый цвет указывает на наличие хлорофилла, розовый — марганца или каротина, голубоватый на присутствие вивианита, черный на присутствие железа, серый — на наличие глины или известковых компонентов. Сапропели в естественном залегании могут достигать влажности 91 %, причем чем выше содержание в них органических веществ и меньше уплотненность, тем выше их естественная влажность. Скорость водоотдачи сапропеля до нижнего предела содержания свободной воды (50—60 %) довольно высока. Дальнейшее обезвоживание достигается с трудом. Высохший сапропель весьма слабо намокает даже в размолотом состоянии. При потере влаги усадка сапропеля достигает 15 % начального объема. Истинная их плотность колеблется от 1,4 до 1,7 г/см³.

Применение. Сапропелевые отложения издавна привлекают внимание человека из-за большого теоретического интереса к этим органическим осадкам, в геологическом прошлом являвшихся источником вещества для формирования горючих сланцев и некоторых видов углей и в связи с возможностью их использования в практических целях. На сегодняшний день теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены возможности применения сапропелей во многих областях народного хозяйства. В сельском хозяйстве они могут быть использованы в качестве естественных органических и органоминеральных удобрений, в качестве основы для получения компостов и гранулированных поликомпонентных удобрений, как

средство для кольматации (улучшения структуры) тяжелых почв, как минерально-витаминные добавки к кормам сельскохозяйственных животных. В промышленности строительных материалов сапропели могут быть использованы как клеи и связующие добавки при производстве древесно-волоконистых и теплоизоляционных плит, а также в качестве технологических добавок для производства пористых керамических изделий (дренажных труб, стеновых камней), керамзита и аглопорита.

В геологоразведочной практике — в качестве основы для приготовления буровых и тампонажных растворов. В медицине — для приготовления лечебных грязей, лекарственных препаратов. В химической промышленности некоторые виды сапропелей могут быть использованы для производства жидкого топлива, парафина, машинных масел и др.

Добыча сапропелей, помимо их хозяйственного использования решает и другую, не менее важную задачу — очистку и восстановление заиленных водоемов. Извлечение донных осадков приводит тепловой и газовый режим водоемов в состояние равновесия, увеличивает массу воды и запасы кислорода и создает благоприятные условия для рыбоводства.

Запасы и добыча. На территории СНГ расположено около трех миллионов озер, большая часть которых сапропелепродуктивные. Наиболее изучены и разведаны они в Прибалтике и Белоруссии, а максимальными запасами сапропелей обладает Россия. В одной Московской области насчитывается 149 озер, содержащих более 40 млн т сапропеля. Распределение ресурсов сапропелей (по категории P_3) следующее: Россия (92 млрд т), Белоруссия (1,5), Украина (0,2), Литва (1), Эстония (4), Латвия (1,2).

С учетом сапропелей палеозер (залегание под торфом) общий предполагаемый запас сапропелей на территории России составляет 112 млрд т. Предварительно оцененные и разведанные запасы на 1985 г. составляют около 3 млрд т.

На сегодняшний день практическое применение нашли несколько способов добычи сапропеля. 1) Сухой экскаваторный способ, сопровождаемый осушением водоема, применим для сильно заиленных неглубоких проточных озер. 2) Добыча грейферным земснарядом с понтона при наплавной транспортировке добытого материала к береговым складам, наиболее целесообразна при разработке сапропелей повышенной плотности, более литофицированных. 3) Гидромеханизированный способ экскавации с гидротранспортом сапропеля в места складирова-

ния, применим в любых водоемах при добыче сапропеля с влажностью в естественном состоянии до 93 % и со значительных глубин. Особенности последнего способа являются высокая производительность установок при малых затратах рабочей силы на их обслуживание и сочетание в одном технологическом цикле добычи, гидротранспорта и складирования, что весьма прогрессивно.

Геохимия и минералогия. Сапропели — это органогенные осадки, состоящие из двух основных компонентов — минеральной массы (ММ) и органического вещества (ОВ). В минеральной массе сапропелей выделяются три группы минералов, различающихся по генезису. Группа аллютигенных минералов включает минеральные примеси терригенного характера, поступившие в водоем извне с водопритокком в виде механических примесей и представленные, главным образом, кварцем, амфиболами, слодами, полевыми шпатами.

Минералы хемогенного происхождения сформировались в результате осаждения растворенных в воде минеральных компонентов и химических элементов (под воздействием изменения физико-химических условий — Р, Т, рН, Eh), поступивших в водоем в виде истинных и коллоидных растворов. Среди них наиболее распространены кальцит, сидерит, β -керченит, вивинит, опал, гипс, марказит, пирит.

Биогенное минералообразование в водоемах происходит в связи с жизнедеятельностью животных и растительных организмов, экстрагирующих минеральные вещества из воды и использующих их в своем биологическом цикле, слагая свои раковины и скелетные постройки. Наиболее часто представлены они арагонитом, кальцитом, опалом, реже фосфатами кальция, оксидами и гидроксидами железа.

Содержания в сапропелях основных породообразующих элементов варьируют в широких пределах, зависят от соотношения минеральной и органической составляющей и непостоянны для одного и того же региона. Так для сапропелей Мещеры и Северо-Западной части России содержание SiO_2 варьирует от 76,66 до 16,24 %, в то время как концентрации CaO колеблются от 52,29 до 4,23 %. Содержание Fe_2O_3 варьирует от 18,36 до 5,42 % при концентрации Al_2O_3 меняющейся от 18,36 до 6,22 %. Концентрации K_2O установлены в пределах 2,21—0,56 %, MgO — в пределах 5,6—1,52 %, P_2O_5 — 3,12—0,76 %, SO_4^{2-}

— 15,88—2,89 %. В то же время зольность сапропелей варьирует от 49,18 до 6,69 % на сухое вещество.

Кроме того, в сапропелях постоянно присутствуют кобальт ($0,7\text{—}11,2 \cdot 10^{-4} \%$), марганец ($54\text{—}910 \cdot 10^{-4} \%$), медь ($12,3\text{—}25,6 \cdot 10^{-4} \%$), молибден ($6\text{—}45 \cdot 10^{-4} \%$), бор ($2\text{—}37 \cdot 10^{-4} \%$), цинк ($26\text{—}60 \times 10^{-4} \%$). По большому счету микроэлементный состав сапропелей определяется общей геохимической обстановкой в регионе и обусловлен миграцией элементов в процессах гипергенеза.

Органическое вещество (ОВ) сапропелей образуется, как правило, непосредственно в водоеме в результате отмирания водных организмов и растительности, но некоторая часть его может привноситься текучими водами (растворенный гумус болотных вод) или заноситься ветром (листья, пыльца, споры).

Основным биопродуцентом сапропелевого органического вещества является фитопланктон, в то время как вклад зоопланктона и особенно бентоса, весьма незначителен.

При характеристике органического вещества сапропелей определяется их элементный и групповой составы.

Элементный состав сапропелей — это содержание в них С, О, Н в процентах на горючую массу и N и S в процентах на сухую массу. Органическое вещество сапропелей обычно содержит углерода (52—61 %), кислорода 25—36 %, водорода — 6,6—8,1 %, азота 4—6 %. Содержание серы в большинстве случаев находится в пределах 0,6—1,4 % при редко встречающихся концентрациях 5—6 %.

Групповой (компонентный) состав сапропелей — это содержание в их органическом веществе битумов (2,8—11,8 %), водорастворимых соединений (1,3—10,7 %), легкогидролизуемых соединений (13,8—45,6 %), гемицеллолозы (5,8—26,7 %), гуминовых кислот (8,2—32 %), фульвокислот (7,1—28,7 %), трудногидролизуемых соединений (1,9—13,6 %), целлолозы (0,9—7,4 %), негидролизуемого осадка (10,5—39,6 %). Кроме того, сапропели содержат некоторое количество биологически активных веществ — витамины, гормоны, антибиотики, стимуляторы роста в количествах от 1,32 до 2080 мкг на килограмм сухого сапропеля.

Кислотность сапропелей обычно варьирует от 5 до 6,5. Наиболее кислую реакцию имеют пелогены (или торфосапропели) с $\text{pH} = 3,8\text{—}4,8$. Кислотность известковых сапропелей незначительна. При содержании СаО до 15 % pH сапропелей устойчиво

превышает 6 и их реакция приближается к нейтральной ($pH = 7$) по мере возрастания содержания оксида кальция.

Типы сапропелей и кондиции. По составу минеральной массы (т.е. по вещественному составу золы) сапропели подразделяются на несколько типов:

1. Кремнистые, содержащие в золе более 50 % SiO_2 в основном в виде кварца или опала.

2. Известковистые, содержащие в золе более 50 % CaO , главным образом, за счет карбонатов кальция.

3. Сапропели смешанного типа, имеющие промежуточный состав и содержащие в золе менее 50 % SiO_2 и CaO , в т. ч. железистые (с содержанием общего железа до 30 и более процентов) и глинистые с содержаниями Al_2O_3 до 16 и более процентов).

В то же время по соотношению минеральной массы и органического вещества выделяются 4 группы сапропелей, которые в свою очередь подразделяются на ряд типов и видов (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Генетическая классификация сапропелей (по А.Я. Рубинштейну, 1971)

Группа	Содержание органического вещества, %	Тип	Вид
Мало-зольные	свыше 70	Органические грубо-детритовые Органические тонко-детритовые (водорослевые)	Торфянистый Гумусированный Цианофицийный Протококковый Хризомонадовый
Средне-зольные	50—70	Органогенные (минерально-органические)	Смешанно-водорослевый Диаомовый Зоогеновый
Повышенно-зольные	30—50	Органо-минеральные	Кремнеземистый Известковистый
Высоко-зольные	менее 30	Минерализованные	Железистый Глинистый Песчанистый

Требования к сапропелям для производства удобрений приведены в табл. 4.4

Требования к сапропелевому сырью для производства удобрений

Показатель	Вид удобрения, норма		
	органические (ор- гано-минеральные)	для мелиорации малопродуктив- ных земель	известко- вание
Содержание остатка от прокаливания при 900 °С в % на СВ, не более	50 (допуск-70 по согласованию с потребителем)	70	Не нормируется
Содержание азота, в % на СВ, не менее	1,5	Не нормируется	-"
Содержание в золе, в % на СВ:			
Fe ₂ O ₃ , не более	10	-"	-"
CaO, не более	12	-"	Не менее 12
SO ₃ , не более	3	-"	Не норм.
pH, не менее	5	5	-"

Требования к сапропелям, используемым для получения ко-
рмовых добавок:

Содержание остатка от прокаливания при

900 °С в % на СВ 5—55

Содержание азота, в % на СВ 0,6—4

Содержание в золе, в % на СВ:

CaO 2—45

SiO₂ 2—25Al₂O₃ 0,1—3Fe₂O₃ 0,1—5

MgO 0,1—2

SO₃ 0,1—3P₂O₅ 0,1—2,5

Сумма микроэлементов (Mo, Co, V, B, J) в мг/кг на СВ Не менее 80

Содержание в золе веществ, нерастворимых в 10 % HCl, в % на СВ 2—20

Содержание вредных примесей:

фтор (F), в % на СВ, не более 0,2

мышьяк Не допускается

ртуть -"

олово -"

свинец	0,004
марганец	0,03
медь	0,003
хром	0,003
кадмий	0,0005
нитраты и нитриты, мг/кг на СВ, не более	0,05
Хлороорганические соединения мг/кг на СВ, не более:	
ДДТ	0,05
гексохлоран:	1
для молочного скота	1
для животных на откорме	3
Наличие посторонних примесей (камень, стекло и др.)	Не допускается
Содержание металломагнитных примесей	"-
Бактериологические показатели:	
возбудители сибирской язвы	"-
возбудители сальмонеллеза	"-
другие опасные возбудители	"-
Биологические показатели	Безвредность для животных

Требования к сапропелям для приготовления лечебных грязей:

Внешние признаки:

цвет	Однородный от серого до черного
запах	Отсутствует или сероводородный
консистенция	Вязкопластичная
включения	Может содержать волокна растен- ний сапропелеобразователей. Ра- кушечник не должен присутство- вать

Влажность, относит. %	80—93
Остаток от прокаливания, в % на СВ, не более	50
Реакция среды (рН)	4,5—8
Содержание частиц, крупнее 0,25 мм в % на СВ, не более	20
Предельное напряжение сдвига, Па	200—800
Общая минерализация грязевого раствора, г/л, до	2
Санитарно-бактериологические показатели	0,1 и выше

Требования к сапропелям для производства строительных материалов (дренажных труб, строительных камней, аглопорита):

Тип сапропеля	Органический
Содержание остатка после прокаливания, % на СВ, не более	25
Температура воспламенения, °С, не выше	300
Теплота сгорания, Дж/кг, не менее	7500
Истираемость, в %	1—4
Содержание летучих, % не менее	60
Водопоглощение (через 2 ч после погружения в воду), %	44
Механическая прочность на сжатие, кг/см ²	45—50

Требования к сапропелям для производства клеящих добавок:

Тип сапропеля	Органический
Биологический вид	Водорослевый
Дисперсность:	
содержание фракции крупнее 0,1 мкм, в % не более	10
Содержание гуминовых кислот, в % на СВ	6—25
Содержание азота, в % на СВ, не менее	3

Требования к сапропелям для приготовления буровых растворов:

Влажность, в % не более	40
Остаток после прокаливания, в % на СВ не более	40
Содержание песка, в % не более	3
Содержание частиц размером:	
от 1 до 2 мм, в % не более	10
менее 1 мм, в % не менее	90

Горно-геологические условия месторождений сапропелей

Озеро Рукавское расположено во Владимирской обл. и представляет собой слабопроточную котловину ледниково-эрозионного происхождения. Котловина имеет чашеобразную форму, глубина которой достигает 11 м. Глубина воды 1,2 м. В обрамлении озера залегают аллювиальные, флювиогляциальные и моренные пески и суглинки четвертичного возраста. В настоящее время озерная котловина на 90 % заполнена сапропелевыми отложениями, наибольшая мощность которых составляет 9,6 м. Строение сапропелевой залежи сложное (рис. 4.12). В нижней части разреза до глубины 6,5 м от уровня воды

залегает сульфатно-известковые сапропели, содержащие органическое вещество в количестве от 40 до 50 %. Минеральная фракция представлена аутигенными минералами — кальцитом и гипсом, содержание которых составляет 30 и 10 % соответственно. На сульфатно-известковых сапропелях залегают смешанно-водорослевые, которые прослежены в интервале глубин от 3,5 до 6,5 м от уровня зеркала воды. Они содержат незначительное количество аллотигенных минералов (кварц, полевые шпаты и др.), а из аутигенных установлены агрегаты кальцита биогенного происхождения, лимонит и опал — основной минерал данной стадии сапропелеобразования.

В верхней части стратиграфического разреза залегают водорослево-глинистые сапропели мощностью от 2 до 2,5 м. От подстилающих сапропелей они отличаются обилием лимонита и глинистых минералов, а также слабым развитием карбонатов.

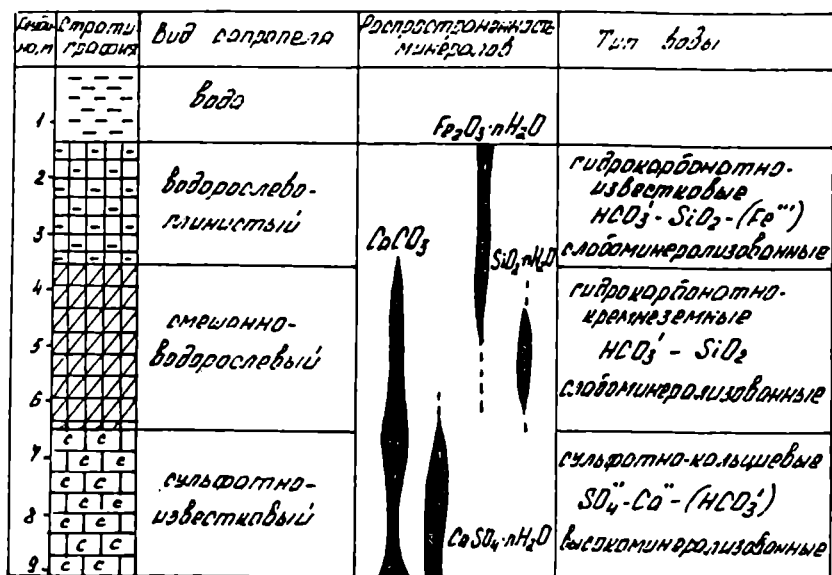


Рис. 4.12. Схематический геологический разрез, распределение аутигенных минералов и характеристика сапропелевых отложений оз. Рукавского

Сапропели оз. Рукавское разрабатывались гидромеханизированным способом с последующим использованием на сельскохозяйственные нужды. Разрабатывались два верхних горизонта, сапропели которых смешивались на площадках обезвоживания. Результаты анализа сапропелей оз. Рукавского представлены в табл. 4.5, 4.6.

Таблица 4.5

Результаты анализа сапропелей оз. Рукавское
(в соответствии с ГОСТ, ТУ-10.11.860-90) по данным МСУ
треста «Гидромеханизация»

Наименование показателя	Нормы по ГОСТ, ТУ	Фактическое содержание
Содержание органического вещества в % на сухое вещество не менее	50	52
Содержание в % на сухое вещество:		
азота не менее	1,5	3,3
СаО не более	17	13
Fe ₂ O ₃ не более	10	5,6
Оз не более	3	3
рН солевой суспензии не менее	5	6,6
Р/а загрязнение Cs, кБк	18,5	Отсутствует

Таблица 4.6

Тяжелые металлы мг/кг	Класс пригодности		Фактическое содержание
	1	2	
Кадмий, не менее	1,5	1,5—9,6	3,4
Молибден	2,5	2,5—14	12
Никель	50	50—200	34
Цинк	50	50—220	0,8
Свинец	20	20—85	1,2
Хром	50	50—260	94
Медь	30	30—150	2,6
Кобальт	25	25—150	0,5
Ртуть	1	1—7,5	От фоновых значений

4.18. ТЕХНОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Общие сведения

Техногенным месторождением полезного ископаемого называется геометрическая организация в земной коре отходов горнодобывающих, металлургических, химических и иных пред-

приятый, которые по количеству и качеству пригодны для промышленного использования как вторичное сырье.

Современный этап развития горного производства характеризуется вовлечением в разработку природных месторождений с бедными и часто труднообогатимыми рудами, требующими обогащения, при котором образуется значительное количество отходов. Кроме того, много отходов образуется за счет пород вскрыши.

Ежегодно в отвалы поступают миллиарды тонн пород вскрыши, отходов обогащения, металлургических шлаков, угольной золы и др. Только в хранилища отходов рудообогащения черных и цветных металлов укладывают ежегодно в мире около 3 млрд м³ хвостов, при этом на укладку 1 млн м³ хвостов требуется от 3 до 8 га земли. Размеры земельных отводов (в га) крупнейших комбинатов позволяют оценить масштабы нарушения земель: Учалинский ГОК 6900, Полтавский РОК 6080, Михайловский РОК 4785, Гайский РОК 3380, Лебединский ГОК 2080, Стойленский ГОК 1780.

Породные массы отвалов и хвостохранилищ составляют 85 % всего объема горной массы, извлекаемой при добыче железной руды и перерабатываемой в обогатительном переделе. На обогатительных фабриках на 1 т цветных металлов в отвалы направляется 30—100 т хвостов.

При обогащении величина потерь варьирует в широких пределах и обусловлена химическим, минералогическим и granulometric составом руд и вмещающих пород, а также их структурно-текстурными особенностями.

Для большинства руд цветных металлов она колеблется в пределах 10—25 %, в некоторых случаях повышаясь до 40 %. Кроме того, значительная часть попутных компонентов в руде содержится не в виде самостоятельных минералов, а распределяется между минералами основных металлов и вмещающих пород и часто вместе с ними переходит в те или иные продукты или отходы обогащения.

Отходы горнодобывающих, обогатительных, металлургических предприятий можно рассматривать как с позиции доизвлечения содержащихся в них попутных, реже главных компонентов, так и их утилизации как строительных материалов или композиционных составляющих последних.

Хвосты обогащения колчеданных руд на Уральских обогатительных фабриках рассматриваются как техногенные место-

рождения цветных металлов и серы. Например, хвосты Карабашской обогатительной фабрики содержат в среднем серы — 29,64 %, меди — 0,33 %, цинка — 0,33 %, золота — 1,1 г/т, серебра — 6,6 г/т. В настоящее время разработаны технологии перефлотации пиритсодержащих хвостов большинства Уральских фабрик: Красноуральской, Среднеуральской, Карабашской, Сибайской, Бурибаевской; установлена возможность получения высококачественных пиритных концентратов при увеличении серы на 70—85 %, а из хвостов Красноуральской фабрики еще медного и цинкового концентратов.

Активно ведутся работы по доизвлечению полезных компонентов из отходов и за рубежом. Например, широко практикуется вторичная переработка золотосодержащих (0,25—0,6 г/т) отвалов и хвостов методами кучного и перкаляционного выщелачивания. На крупнейшем в Испании производителе олова и вольфрама — руднике Ла-Паррильд — проектируется строительство установки по переработке хвостов обогащения с получением концентрата, содержащего 2,5 % олова, 13 % вольфрама и 25 % мышьяка. Первоначальные мощности составят 70, а в дальнейшем могут быть доведены до 250 т хвостов в час.

В естественном виде, либо после переработки с целью доизвлечения компонентов или удаления токсичных элементов и их соединений отходы горнодобывающих, обогатительных и металлургических предприятий применяют также в качестве строительных материалов, сырья для производства кирпича, силикатного бетона, облицовочных материалов, портландцемента, закладочного материала, сырья для стекольного и керамического производства и др.

Во многих горнодобывающих странах мира, в т. ч. и у нас, скопились огромные запасы отходов. Например, на Кольском полуострове во вскрышные отвалы ежегодно поступает до 170 млн т породы, а на Урале — только вскрышных пород железорудных месторождений — более 160 млн т ежегодно. По различным оценкам примерно 67 % вскрышных пород железорудных месторождений СНГ пригодны для производства различных строительных материалов, причем, наибольшая доля приходится на щебень (30 %), цемент (24 %) и керамические стеновые материалы (16 %). Некоторые горно-обогатительные предприятия России уже имеют опыт промышленного использования пород вскрыши для производства строительных материалов. На отвальных породах Оленегорска работает завод по

производству щебня, на вскрышных породах КМА (мел, глина Стойленского рудника, алуминосная добавка — сланцы Лебединского рудника) — Старооскольский цементный завод. Мел пород вскрыши Лебединского месторождения может быть использован для известкования кислых почв, в качестве наполнителя при производстве красок; пески — для производства формовочных песков, кристаллические сланцы — для производства щебня и др. Породы вскрыши Костомукшского месторождения могут применяться в производстве фаянса и технической керамики, эмалей, цветного стекла и др. Производство строительных материалов из отходов позволяет повысить экономическую эффективность горнообогатительных предприятий.

Однако, рост использования отходов обогатительных фабрик сдерживается наличием в них металлов, хотя и в незначительных концентрациях, но уже доступных для извлечения с определенным экономическим эффектом, т.е. использовать для строительных и других подобных целей можно лишь те отходы, которые не содержат ценных металлов, в противном случае они подлежат хранению. В силу этого отвалы хвосты фабрик используются крайне ограничено. Так, в 1989 г. доля использования хвостов на предприятиях медной подотрасли страны составила лишь 1,7 % объема образования хвостов. Несколько лучше дела в железорудной подотрасли, объем утилизации отходов составляет около 15 %.

Причины незначительного использования отходов рудообогащения — незаинтересованность строительных организаций в их использовании и слабая изученность возможности утилизации тонких фракций (менее 0,14 мм), содержащихся в хвостах в значительных количествах. Хвосты обогащения крупных фракций горнообогатительные комбинаты используют в основном для намыва дамб и плотин хвостохранилищ и повторного обогащения более глубокими методами с целью доизвлечения полезных компонентов.

Не менее остро стоит проблема утилизации отходов металлургического передела. Только с доменными шлаками в США теряется до 0,9 % производимого чугуна, что составляет примерно до 900 тыс. т/год. По различным данным, потребление стали в мире к 2005 г. составит 1,7—1,9 млрд т. Доля конвертерного передела достигнет 60—92 %. По экономическим оценкам одна тонна отходов стали, пущенная в оборот, может заменить 2 т железной руды, 600 кг кокса и 350 кг флюсов.

В отличие от шлаков доменных печей шлак кислородных конвертеров не представляет большой ценности и его повторное использование в доменных печах весьма ограничено из-за значительного содержания вредных примесей. В то же время высокое содержание в нем железа (до 13—15 %) обуславливает необходимость его выделения и использования. В настоящее время из шлаков металлургических производств извлекается 1,7—2 млн т железа.

Экономичность утилизации отходов горно-обогатительного и металлургических производств определяется: химическим и вещественным составом отходов (ценными, попутными и токсичными компонентами); технологической возможностью доизвлечения полезных компонентов, либо возможностью использования отходов (отдельных их фракций) в стройиндустрии; потребностью региона в данной дополнительной продукции.

Складирование промышленных отходов оказывает негативное воздействие на окружающую среду по нескольким направлениям: нарушение и изъятие земель из хозяйственного использования; загрязнение водных источников и нарушение гидробаланса (особенно при возведении хвостохранилищ); загрязнение атмосферы.

Поэтому вовлечение в эксплуатацию техногенных месторождений имеет не только практическое промышленное (экономическое) значение, но и экологическое.

Типы техногенных месторождений

Отходы промышленного производства являются результатом несовершенства ряда технологических процессов, разработки, обогащения или металлургического передела полезного ископаемого. В силу направленности настоящего учебника рассматриваются лишь некоторые типы промышленных отходов: отходы горнодобывающих предприятий; отходы обогатительных фабрик, металлургические шлаки и золы топлива, отходы химической переработки сырья.

Отходы горнодобывающих предприятий — вскрышные породы. В зависимости от вещественного состава их можно использовать для производства различных видов строительных материалов. Чаще всего они применяются в качестве щебня — крупного заполнителя бетонов, балласта железнодорожных путей и др.

Отходы обогатительных фабрик подразделяются на отходы обогащения руд и отходы обогащения каменных углей.

Первые образуют огромные объемы хвостов обогащения, вторые представлены горелыми и негорелыми породами. Благоприятный вещественный и гранулометрический состав хвостов обогащения позволяет успешно применять их в качестве заменителя естественных кварцевых песков, в производстве силикатных стеновых и облицовочных материалов автоклавного твердения, стеклянной тары, асфальтобетонных смесей, строительных растворов, бетонов и др.

Металлургические шлаки образуются при доменной плавке железных руд. Пустая порода сплавляется с золой кокса, образуя силикатный расплав — доменный шлак. Шлаки образуются также при плавке руд и концентратов цветных металлов.

Золы топлива образуются при сгорании горючих составляющих твердого топлива в топках энергетических установок. Шлаки и золы используются в основном, для производства различных видов цемента, вяжущих материалов, минеральной ваты, каменного литья.

Отходы химической переработки сырья — результат гидрометаллургической и химической обработки полезных ископаемых. При этом образуются значительные количества производственных отходов: кеков, шламов и др. Эти отходы можно использовать для получения специальных видов цемента, как добавки при производстве кирпича, черепицы и др.

Однако, следует подчеркнуть, что проблема утилизации отходов горнообогастительных комбинатов в промышленных масштабах практически не решена. Этому препятствует ряд причин: отсутствие стандартов на различные виды отходов, ведомственный подход к учету отходов, нет государственной концепции складирования и использования отходов в масштабе страны.

Горно-геологические условия техногенных месторождений

Ковдорское техногенное месторождение находится на Кольском полуострове, в 7,7 км от г. Ковдор. Залежь хвостов обогащения сформирована в период с 1962 по 1981 г. Залежь сформирована в верхней части долины ручья Можель и представлена двумя участками (подсчетными блоками) юго-восточным и северо-западным. Границей юго-восточного блока на северо-востоке и юго-западе служат борта долины ручья Можель, а на северо-западе водная акватория бассейна оборотной воды Ков-

дорского ГОКа, на юго-востоке — дамба № 1. Границей северо-западного участка являются с юга — водная акватория, с севера — борт долины ручья Можель.

Длина юго-восточного участка изменяется от 1700 м на северо-западе до 1300 м на юго-востоке, максимальная ширина вблизи дамбы № 1 — 1150 м, минимальная на западе у бокового распада, ограждаемого плотиной № 3 — 350—400 м. Вертикальная мощность отложений варьирует и достигает у дамбы № 1 38—40 м.

Поверхность залежи практически плоская с небольшим уклоном в сторону водной акватории. Максимальное относительное превышение — 8 м. Основным фактором, определяющим форму нижней границы залежи и ее вертикальную мощность, является погребенный рельеф земной поверхности. Угол наклона незначительный и не превышает 5—7° и в отдельных случаях 10—12°.

Складированные хвосты мокрой магнитной сепарации и апатитовой флотации представляют собой тонкоизмельченный песчаный материал, более 70 % зерен которого имеют крупность более 0,074 мм. Ситовой анализ рядовых проб разведочных скважин показал, что количество тонких фракций увеличивается в сторону водной акватории, а крупных — в направлении границ залежи с естественным рельефом. С глубиной доля мелких фракций (преимущественно — 0,074 мм) увеличивается.

Главными минералами техногенного месторождения являются апатит, форстерит, карбонаты; второстепенные — диопсид, магнетит, слоды; в числе «прочих» — нефелин, хлорит.

Характер распределения компонентов $\text{Fe}_{0,6\text{ш.}}$, P_2O_5 , MgO , CO_2 — равномерный (коэффициент вариации 15—38 %), а диоксида циркония (ZrO_2) — неравномерный (60—70 %). Содержание P_2O_5 в залежи хвостов возрастает сверху вниз от 10,5 % до 12,3 %. При содержании железа общего по слоям залежи 3,4—4,4 %, содержания железа магнитного невысокие 0,65—1,23 %. Вверх по разрезу залежи несколько возрастают содержания серы от 0,17 до 0,25 %. При общем уменьшении содержания карбонатов вниз по разрезу и относительно равномерном распределении CaO и MgO доля доломита возрастает

преимущественно за счет уменьшения содержания кальцита. Отмечается также некоторое повышение вверх по разрезу радиоактивности хвостов.

Хвосты Ковдорского месторождения могут быть использованы для доизвлечения P_2O_5 с целью получения высококачественного апатитового концентрата и доизвлечения ZrO_2 — для производства бадделиитового концентрата. Запасы залежи хвостов оцениваются в 68 200 тыс. т техногенной руды при содержании P_2O_5 10,8 %, ZrO_2 — 0,26 %. Месторождение предполагается отрабатывать шестиметровыми уступами.

Эльбрусское техногенное месторождение. Промышленная разработка Эльбрусского свинцово-цинкового месторождения прекращена в 1976 г. в связи с отработкой кондиционных рудных жил. Старое и новое хвостохранилища обогатительной фабрики расположены в 35 км от г. Карачаевска, вверх по течению р. Кубань. По окончании эксплуатации месторождения они не были своевременно законсервированы, в результате чего и по настоящее время происходит запыление воздушного бассейна Кубанского ущелья силикозоопасной тонкодисперсной кварцевой пылью, токсичными примесями соединений мышьяка и флоторсагентов, в т. ч. и цианидов.

Расположение хвостохранилищ в пойме р. Кубань вызывает подмыв откосов хвостов паводковыми водами и сползание значительных объемов хвостов в реку, а атмосферные осадки приводят к интенсивному оврагообразованию на поверхности старого хвостохранилища.

Хвостохранилища характеризуются следующими параметрами: общая площадь — 5 га, общее количество отходов — 321 525 м³, мощность отвалов — 3—5 м, угол откоса от 30° (новое хвостохранилище) до 50° (старое хвостохранилище). Минеральный состав хвостов (%): кварц — 60, полевые шпаты — 25, рудные и аксессуарные минералы (сфалерит, галенит, магнетит, реальгар, аурунитмет, апатит) — 15. Гранулометрический состав (размер фракций в мкм /содержание в %): +208/23,6; — 208+147/18,6; —147+104/5,5; —104+88/7,9; —88+74/3,3; —74+62/5,0; —62+44/6,2; —44+26/5,3; —26+13/7,3; —13+6/6,2; —6/11,1.

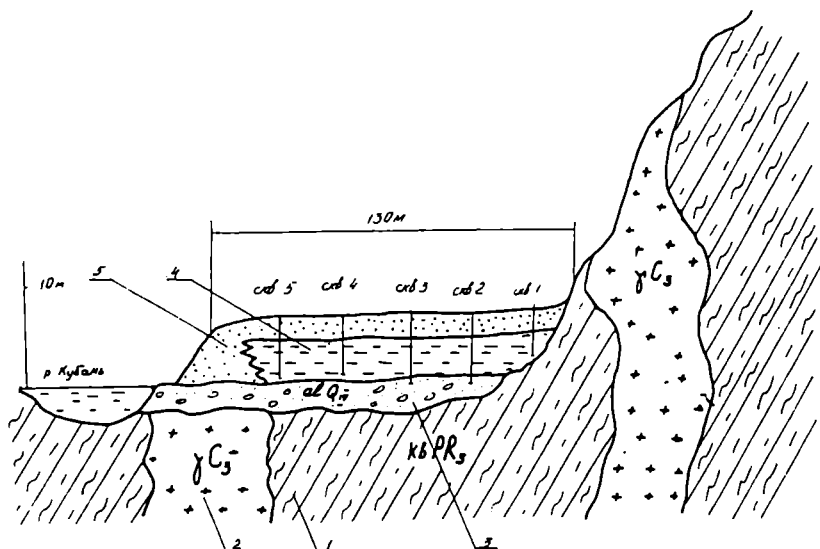


Рис. 4.13. Схематический разрез хвостохранилища Эльбрусского месторождения:

1 — графит-серицит-кварцевые сланцы; 2 — гранит-порфиры; 3 — аллювиальные отложения р. Кубань; 4 — «глинистая» пачка хвостов; 5 — «песчаная» пачка хвостов

Коэффициент фильтрации, пористость и средняя влажность хвостов характеризуются величинами: K_f 1,74 — 3,69 м/сут, P — 9,2 — 11,8, W — 16,5 %.

В строении старого и нового хвостохранилищ отчетливо выделяются две литологические разновидности (рис. 4.13): верхняя, сложенная более крупнозернистым материалом (песчаная пачка) и нижняя глинистая толща (глинистая пачка).

Изучение содержаний главных, второстепенных и вредных химических элементов в хвостах проведено по инструментальным нейтронно-активационным анализам.

Средние содержания свинца и цинка (в %) в старом и новом хвостохранилищах составляют соответственно: Pb — 0,08 и 0,12; Zn — 0,23 и 0,47.

Используя методы автоматизированной геометризации месторождений, на ЭВМ были построены планы старого и нового хвостохранилищ в изоконцентрах Pb, Zn, As, которые представляют собой латеральные пресс-проекции распределения со-

держаний элементов. С помощью планов выделены участки хвостохранилищ, представляющие первоочередной интерес для промышленного доизвлечения (в нашем случае цинк) полезных компонентов и наиболее загрязненные, представляющие экологическую опасность (участки с максимальным содержанием мышьяка), на которых необходимо вести специальные работы.

Для доизвлечения цинка представляет интерес новое хвостохранилище по причине более однородного и простого строения и высоких содержаний компонента. Кроме того, верхнюю толщу хвостохранилищ можно отработать селективно как эндогенное месторождение строительных песков, для чего проведена объемная геометризация, подсчитаны запасы, выполнена стоимостная оценка.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие полезные ископаемые относятся к группе неметаллических?
2. В чем состоят особенности оценки качества неметаллических полезных ископаемых?
3. Дайте классификацию неметаллических полезных ископаемых по основным направлениям их промышленного применения.
4. Как классифицируются драгоценные, поделочные и технические камни? Какие показатели определяют их качество?
5. Что такое декоративный коллекционный материал?
6. Приведите данные о запасах и добыче алмазов и других видов драгоценных и поделочных камней.
7. Дайте горно-геологическую характеристику трубки «Удачная».
8. Какими особенностями геологического строения и вещественного состава характеризуются эндогенные месторождения драгоценных и поделочных камней?
9. Назовите основные особенности морфологии, условий залегания и вещественного состава экзогенных месторождений драгоценных и поделочных камней.
10. Какие свойства графита определяют направления его промышленного использования?
11. Как распределены по странам запасы и добыча графита?
12. В каких областях промышленности применяются минералы группы слюд?
13. Приведите данные о запасах и добыче мусковита и флогопита.
14. Дайте характеристику геологического строения и вещественного состава карбонатитовых месторождений флогопита.
15. Дайте характеристику горно-геологических условий месторождений Мамско-Чуйской группы гранитных пегматитов.
16. Какие свойства асбестовых минералов определяют их промышленное значение?
17. В каких странах сосредоточены запасы и добыча асбеста?
18. Дайте сравнительную характеристику геологического строения гидротермальных и скарновых месторождений хризотил-асбеста.

19. Какие требования к качеству талькового сырья установлены промышленностью?

20. Каковы запасы и добыча талька и талькового камня в России и за рубежом?

21. Сравните геологические условия гидротермальных и метаморфических тальковых месторождений.

22. В каких областях промышленности применяется флюорит?

23. Как распределены по странам его запасы и добыча?

24. Дайте характеристику геологического строения и вещественного состава гидротермальных месторождений флюорита.

25. Каковы основные направления промышленного использования магнезита и брусита?

26. Какими показателями определяются требования промышленности к данному виду минерального сырья?

27. Какие страны являются основными поставщиками магнезита и брусита?

28. Охарактеризуйте особенности геологического строения и вещественного состава гидротермальных месторождений магнезита.

29. Какие свойства обуславливают направления промышленного использования цеолитов, какими особенностями строения данной группы минералов определяются эти свойства?

30. В каких отраслях промышленности и сельского хозяйства применяются цеолиты?

31. Назовите главные генетические типы промышленных месторождений цеолитов, охарактеризуйте особенности их строения и состава. Приведите примеры.

32. Что такое минеральные соли? Назовите главные промышленные минералы данного вида минерального сырья.

33. Каковы основные направления промышленного использования каменных и калийных солей?

34. Как оцениваются мировые запасы и добыча каменных и калийных солей? Какие страны являются основными поставщиками данного вида минерального сырья?

35. На какие группы делятся месторождения ископаемых солей по особенностям тектонической структуры и условиям залегания? Приведите примеры месторождений каждой из этих групп в СНГ и за рубежом.

36. Что представляют собой современные соляные месторождения, где они распространены?

37. Какие виды минеральных образований служат фосфатным сырьем и в каких отраслях промышленности они применяются?

38. Назовите основные промышленные типы руд, используемых в качестве фосфатного сырья и промышленные кондиции на них.

39. Чему равны запасы фосфатного сырья в СНГ? В каких зарубежных странах расположены крупнейшие месторождения?

40. Дайте характеристику апатитовых месторождений магматического генезиса. Приведите примеры.

41. Сравните особенности геологического строения платформенных и геосинклинальных осадочных месторождений фосфоритов. Приведите примеры.

42. Назовите главные формы нахождения серы в земной коре. Какие из них имеют основное промышленное значение?

43. Какие отрасли промышленности и сельского хозяйства являются основными потребителями серы?

44. Каковы масштабы месторождений самородной серы, какими способами они разрабатываются?

45. В каких капиталистических и развивающихся странах сосредоточены основные запасы самородной серы, какова величина этих запасов?

46. Назовите и коротко охарактеризуйте основные генетические типы промышленных месторождений самородной серы. Приведите примеры.

47. Какими специфическими свойствами кремнистых пород обусловлено их промышленное использование? Укажите основные области их применения.

48. Каковы запасы и добыча кремнистых пород в СНГ и за рубежом?

49. Сравните морские и озерные осадочные месторождения кремнистых пород. Приведите примеры.

50. Какие виды горных пород используются в качестве естественных строительных материалов? Укажите главные направления их промышленного применения.

51. Назовите важнейшие свойства горных пород, определяющие их использование в качестве строительных материалов, требования промышленности к ним.

52. Приведите примеры наиболее крупных месторождений магматических, осадочных и метаморфических пород.

53. Дайте оценку горно-геологических условий Покровского месторождения гранито-гнейсов и амфиболитов.

54. Какие карбонатные породы используются как сырье для производства вяжущих материалов? В каких других отраслях народного хозяйства они применяются?

55. Какие показатели определяют возможности применения карбонатных пород в цементной промышленности?

56. Дайте сравнительную характеристику геосинклинальных, платформенных и переходных месторождений карбонатных пород. Приведите примеры.

57. В каких отраслях народного хозяйства используются пески и песчано-гравийные материалы?

58. Укажите показатели, которыми определяются ГОСТы на пески и песчано-гравийные материалы в зависимости от направления их промышленного использования.

59. Назовите и коротко охарактеризуйте главные генетические типы промышленных песчано-гравийных месторождений. Приведите примеры.

60. Дайте оценку горно-геологических условий Бежицкого и Подгорненского месторождений.

61. Что такое глины? Перечислите основные глинистые минералы. Какие глины называют каолинами?

62. Перечислите специфические свойства глин. Укажите основные направления их использования.

63. Какие генетические типы месторождений глин имеют основное промышленное значение? Дайте их краткую характеристику. Приведите примеры.

64. Что такое сапропель? В каких областях народного хозяйства возможно его применение?

65. Приведите основные характеристики вещественного состава сапропелей, их классификацию.

66. Сравните запасы сапропелей по странам СНГ и перечислите способы его добычи.

ТВЕРДЫЕ ГОРЮЧИЕ ИСКОПАЕМЫЕ

5.1. Общие сведения

Горючие ископаемые разделяются на твердые (торф, ископаемый уголь, горючие сланцы), жидкие (нефть) и газообразные (горючие газы). Они нередко объединяются под общим термином «каустобиолиты», происходящим от греческих корней «каусто» — горючий, «биос» — жизнь и «литос» — камень. Однако нефть и газы не камни, поэтому более правильным следует считать наименование горючие ископаемые.

Горючие ископаемые составляют основу топливно-энергетического комплекса и, вследствие этого, имеют огромное народнохозяйственное значение. Они являются топливно-энергетической базой для всех отраслей промышленности, сельского хозяйства, коммунально-бытового сектора и исходным сырьем для химической, коксохимической и электродной промышленности. В общей стоимости добываемого в мире минерального сырья на полезные ископаемые этой группы приходится более 75 %. Топливо-энергетический баланс в текущем столетии претерпел существенные изменения. В начале XX в. в его составе главную роль играл уголь (> 90 %). В середине столетия стали широко использоваться более эффективные по сравнению с углем виды энергетического сырья — нефть и газ, в связи с чем доля угля в топливно-энергетическом балансе снизилась до 50 %. В то же время абсолютный объем добычи угля непрерывно возрастал и к 80-м годам текущего столетия по сравнению с 1950 г. увеличился в 2 раза (в СССР более чем в 2,5 раза).

Уголь, нефть и природный газ относятся к невозобновляемым органическим источникам энергии и химического сырья. Однако запасы углей в недрах по энергетическому потенциалу во много раз превышают запасы нефти и газа. В прогнозных ресурсах, оцениваемых в 12,8 трлн т условного топлива, уголь составляет более 85 %. Поэтому он рассматривается как наиболее надежный источник энергии и химического сырья на многие столетия.

В данном курсе характеризуются месторождения только твердых горючих ископаемых, в основном, угля и горючих сланцев.

В геологии твердых горючих ископаемых для выбора рациональных способов вскрытия и систем разработки месторождений, а также для наиболее полного и экономически эффективного использования углей (сланцев) в народном хозяйстве особенно важное значение для горных инженеров имеет информация о комплексе геологических параметров, основными из которых являются следующие:

- 1) характеристика угленосной толщи (мощность, состав, угленасыщенность, структурные особенности залегания, характер и степень нарушенности основных структурных форм);
- 2) основные показатели качества, состава и свойств твердых горючих ископаемых, определяющие пригодность их для различных направлений использования в народном хозяйстве;
- 3) морфология угольных пластов и условия их залегания;
- 4) горно-геологические условия месторождения (гидрогеологические условия, физико-механические свойства вмещающих пород, газоносность, геотермический режим и др.).

Эти параметры обусловлены всей геологической историей формирования и последующего изменения угленосных (сланцевых) бассейнов и месторождений. В связи с этим для лучшего усвоения материала по геологии месторождений твердых горючих ископаемых принято последовательно описывать основные комплексы геологических параметров. Вначале рассматриваются комплексы, характеризующие само полезное ископаемое, его вещественный состав и свойства. Для иллюстрации указываются значения основных показателей состава и свойств углей для отдельных бассейнов. Затем излагаются наиболее важные сведения о типах строения, формах залегания и нарушенности тел полезного ископаемого, т.е. о морфологии угольных пластов. Наконец, дается описание угленосной толщи, ее состава и строения. Приводится наиболее распространенная типизация угольных бассейнов и показываются некоторые закономерности угленакопления на территории нашей страны.

При характеристике качества, состава и свойств твердых горючих ископаемых необходимо знать буквенные символы и индексы, применяемые для обозначения отдельных показателей. Для получения сравнимых значений показателей непосредственные результаты испытаний обычно пересчитывают на су-

хое вещество, горючую массу, органическое вещество и др. Следует помнить, что получение сравнимых показателей возможно лишь при постоянстве условий испытания, неизменности условий отбора, хранения и подготовки проб, определенности состояния испытуемого объекта и соблюдения правил пересчета первичных результатов.

В связи с этим разработаны ГОСТы и международные стандарты на методы исследования твердых горючих ископаемых, отбора проб, на единые обозначения аналитических показателей, и определены формулы пересчета результатов анализа с одного состояния на другое. При таких исследованиях уголь (сланец) условно представляют в виде трех составляющих: влаги, минеральных компонентов (минеральной массы) и органических веществ (органической массы).

Результаты анализа можно рассчитать на топливо в целом, а также на топливо без влаги (сухое) или на органическую массу угля (без влаги и минеральной массы). Большинство показателей качества угля определяют по *аналитической пробе*, т.е. по углю, измельченному до крупности зерен менее 0,2 мм, влажность которого доведена до равновесного состояния с влажностью атмосферы лабораторного помещения. Такое состояние топлива называют аналитическим. Остальные формы выражения результатов анализа являются расчетными, полученными на основе зольности и влажности аналитической пробы.

Сухое беззольное состояние — условное состояние топлива, не содержащего общей влаги и золы. Показатели, рассчитанные на сухое беззольное топливо, служат для приближенной характеристики органической массы угля.

Для характеристики топлива в целом существует понятие о его *рабочем состоянии* (или о *рабочем топливе*). Это состояние топлива с таким содержанием влаги и зольностью, с которым оно добывается, отпущается или используется. Пересчет на это состояние делают для того, чтобы учесть влияние общей влаги и зольности рабочего топлива на величину показателей качества.

Обозначение любого аналитического показателя состоит из основного символа (например, S — сера), нижнего индекса, дополняющего характеристику Основного показателя (например, St — сера общая) и верхнего индекса, уточняющего, к какому состоянию топлива относится данная величина. Состояние топлива обозначается следующими верхними индексами: *r* — рабочее, *a* — аналитическое, *d* (анг. dry — сухой) — сухое, *daf*

(анг. dry ashes free — сухой, свободный от золы) — сухое беззольное, о — органическое, af — (анг. ashes free — свободный от золы) — влажное беззольное. Условные обозначения отдельных показателей качества ископаемых углей таковы:

Массовая доля рабочей влаги, %	W_i^r
Зольность сухого топлива, %	A^d
Высшая удельная теплота сгорания по бомбе, кДж/кг	$Q_{\frac{d}{s}}^{daf}$
Низшая удельная теплота сгорания рабочего топлива, кДж/кг	Q_i^r
Выход летучих веществ из сухого беззольного топлива, %	V^{daf}
Пластометрические показатели спекаемости угля, мм:	
пластометрическая усадка	x
толщина пластического слоя	y
Показатель отражения витринита в иммерсионном масле, %	R_o
Выход смолы полукоксования, безводной, %	$T_{\frac{k}{s}}$
Размолоспособность	Grv_{mi}
Действительная плотность, г/см ³	dr
Удельное электрическое сопротивление, Ом·м	ρ

Все показатели качества (за исключением высшей и низшей теплоты сгорания) пересчитывают на различные состояния топлива на основе представления о том, что если принять массу топлива в аналитическом состоянии за 100 %, то масса сухого топлива составит — $100 - W^a$, сухого беззольного $100 - (W^a + A^a)$.

Торф

В настоящее время твердо установлено, что ископаемые угли возникли из торфа в результате его преобразования в недрах Земли.

К торфу относятся полезные ископаемые органического происхождения, сформировавшиеся в результате отмирания и неполного разложения растений в условиях избыточной влажности и затрудненного доступа воздуха. Торф представляет собой первую стадию превращения растительного материала в уголь. При торфообразовании главную роль играют процессы биохимической гумификации при участии бактерий и грибов. Основные структурные изменения растительных остатков происходят в верхнем слое торфяника (торфогенном). Пребывание растительных остатков в торфогенном слое не превышает 10 лет, а процесс формирования торфянных пластов, пригодных для разработки, длится тысячи и десятки тысяч лет. Цвет торфа

варьирует от желтовато-коричневого до черно-серого. Структура его в зависимости от состава растений-торфообразователей и степени разложения изменяется от волокнообразной до аморфной. Текстура в большинстве случаев массивная, иногда слоистая. От бурых углей торф отличается более высоким (до 90 %) содержанием влаги и форменных частей растений (коры, листьев, стеблей и корней), а также наличием сахаров, гемицеллюлоз и целлюлозы. Концентрация отдельных компонентов в торфе такова (в %): углерода C^{daf} — 50-60; водорода H^{daf} 4,5—6,5; азота N^{daf} — 0,8—2,9; кислорода O^{daf} — 31—40; серы S^{daf}_t — 0,1—1,5. Теплота сгорания торфа Q_t^L не превышает 9,1 МДж. По этому показателю он занимает промежуточное положение между древесиной и бурым углем.

В зависимости от характера питающих торфяник вод и условий произрастания растений-торфообразователей различают верховой, низинный и переходный типы торфа, которые в свою очередь разделяются на подтипы — лесной, лесотопяной и топяной с видами (в зависимости от преобладания в их составе остатков отдельных растений) — сфагновым, осоковым, тростниковым и др.

Низинный торф отличается более высоким содержанием минеральных примесей (до 18 %), содержит мало битумов (5—8 %) и фосфора ($P_2O_5 < 0,2$ %). В верховом торфе содержание минеральных веществ не превышает 4 %, а битумов — 20 %; $P_2O_5 > 0,3$ %.

В настоящее время торф в основном используется в качестве удобрения в сельском хозяйстве.

Уголь и горючие сланцы

Уголь — твердая горючая осадочная порода, сформировавшаяся из остатков отмерших растений в результате их биохимических, физико-химических, химических и физических изменений. Кроме органических составляющих в угле всегда присутствуют минеральные примеси, содержание которых изменяется от 1—2 до 50 %. Горючие осадочные образования, содержащие более 50 % минеральных веществ, относятся к углистым породам или горючим сланцам.

Ископаемые угли характеризуются большим разнообразием вещественного состава и физических свойств, что обусловлено неоднородной природой исходного растительного мате-

риала, особенностями эпохи и условий протекания первой (торфяной) стадии углеобразования, взаимодействием температуры и давления в процессе формирования угленосных бассейнов.

По составу материнского вещества угли подразделяются на гумусовые, сапропелевые и гумусо-сапропелевые. Гумусовые угли возникли из торфа, а сапропелевые — из сапропеля. Наибольшим развитием в земной коре пользуются гумусовые угли, меньшим — сапропелевые с высоким ($> 50\%$) содержанием минеральных веществ (горючие сланцы). Гумусо-сапропелевые угли также встречаются достаточно редко, и, вследствие этого, имеют, как и сапропелевые, весьма ограниченное промышленное значение. Для образования углей необходимо благоприятное сочетание палеогеографических и геотектонических факторов — наличие растительного материала, определенных климатических условий, равнинного заболоченного рельефа и таких тектонических движений земной коры, которые способствовали бы накоплению и сохранению растительных остатков.

Все эти факторы в геологической истории нашей планеты не оставались постоянными. Изменялось в пространстве положение отдельных структурных зон земной коры с присущим им характером тектонических движений, а также положение границ морей и континентов, гумидный климат приходил на смену аридному и наоборот, эволюционировал растительный и животный мир.

В докембрии, кембрии и ордовике господствовали простейшие растительные организмы — водоросли, которые сохранились малоизмененными до наших дней. Лишь в позднем силуре появились первые простейшие наземные растения — псилофиты. В девоне из остатков наземных растений начали формироваться настоящие торфяники. Процессы торфообразования при благоприятных условиях интенсивно развивались в последующие геологические периоды; при этом исходным материалом служили все более разнообразные и высокоорганизованные растительные сообщества.

Для карбона характерно обилие семенных папоротников, плауновых, а для конца периода — кордаитов и каламитов. Кордаиты, предшественники хвойных, особенно широко были распространены в пермском периоде. В мезозойское время в растительном мире преобладали хвойные, саговиковые и гинкговые, а в кайнозойское — хвойные и лиственные (покрытосеменные).

В начальные эпохи углеобразования превалировали прибрежно-морские фациальные обстановки с многократным чередованием морских и континентальных отложений (*паралическое углеобразование*). Эволюция растительности обусловила продвижение областей углеобразования в глубь континентов и большее разнообразие фациальных обстановок формирования угленосных толщ, в частности, приобрело широкое развитие *лимническое* (озерное) углеобразование. Отрицательные движения земной коры, соизмеримые по скорости со скоростью накопления на заболоченных равнинах (приморских или внутриконтинентальных) растительных остатков, следует рассматривать как главное условие возникновения торфяных залежей и превращения их в угольные пласты.

Масштабы углеобразования и пространственное размещение зон угленакопления тесно связаны с ходом тектонической эволюции отдельных областей земной коры. Это такие области, где на фоне медленного длительного погружения при соответствующих амплитудах и периодах колебательных движений создавались благоприятные палеогеографические и фациальные условия для торфонакопления и сохранения торфяников от эрозии. В них и происходило погружение торфяных пластов в глубь земной коры, где термобарические условия приводили к превращению торфа в уголь и определяли его последующий метаморфизм.

Эпохи угленакопления связаны с периодами усиления подвижности земной коры, предшествующими основным фазам орогенеза, или с промежутками между ними.

5.2. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА, СОСТАВА И СВОЙСТВ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

Состав угля

Петрографический состав. При макроскопическом изучении углей выделяют (в основном по блеску) макротипы или литотипы (табл. 5.1), а также их разновидности. Для этого используют форму, размер и характер чередования отдельных линз и слойков угля, отличающихся по блеску, трещиноватости и рельефу поверхности излома.

К отдельному литотипу относят слои угля мощностью не менее 20 мм. При определении принадлежности угля к тому или другому литотипу принимают во внимание степень его метаморфизма, так как при увеличении последнего блеск угля непрерывно возрастает. Один и тот же литотип на стадиях бурых, каменных и антрацитовых углей характеризуется весьма различным блеском. В связи с этим блеск образца угля, а следовательно, и принадлежность его к определенному литотипу, устанавливают путем сравнения с блеском заключенных в нем прослоев и линз витрена — его наиболее однородной, и блестящей составной части. Если суммарный блеск угля мало отличается от блеска витрена, то такой уголь относится к блестящему литотипу — кларену. Наименьший блеск имеет фюзен, к которому приближается по этому признаку матовый литотип угля — дюрэн. Поэтому при макроскопическом петрографическом исследовании углей в первую очередь выявляют наличие в них литотипов простого состава — витрена и фюзена. Полублестящий и полуматовый литотипы угля — дюрено-кларен и кларено-дюрэн — по блеску занимают промежуточное положение между клареном и дюреном.

Таблица 5.1

Составные части угля, визуально различимые в пластах

Литотип	Признаки выделения разновидностей литотипов	Участие в сложении угольных пластов
Блестящий — кларен Полублестящий дюрено-кларен Полуматовый кларено-дюрэн Матовый дюрэн	<i>Литотипы сложного состава</i> Однородный, монолитный, землистый. Слойчатый, линзовидно-слойчатый (при мощности отдельных слоев и линз > 2 мм), тонкослойчатый (при мощности < 2 мм)	Образуют пласты или пачки угля; в пределах последних нередко переслаиваются друг с другом
Витрен	<i>Литотипы простого состава</i> Монолитный, однородный	Широко встречаются в пластах угля в виде прослоев и линз мощностью от п · 0,1 мм до 3 см
Фюзен	Волокнистый, сажистый	Слагает линзы мощностью от п · 0,1 до 3 мм, редко отдельные прослои в пластах угля

Упомянутые петрографические составляющие угля существенно различаются по трещиноватости, что связано с их неодинаковой хрупкостью и изменением ее в процессе метаморфизма.

По условиям образования в углях выделяют три типа трещин (табл. 5.2). Наибольшая трещиноватость свойственна витрену и кларену. Особенно резко они отличаются по частоте эндогенных трещин. Эта частота изменяется по кривой с максимумом, приходящимся на средние стадии метаморфизма.

В процессе метаморфизма угля увеличивается не только интенсивность блеска (точнее — отражательная способность витрена), но и его характер. У бурого угля блеск витрена тусклый или смоляной. У каменного он изменяется от жирного до сухого стеклянного.

Таблица 5.2

Классификация трещин в углях

Тип	Характер напряжения при разрыве	Основные факторы образования	Основное направление (относительно слоистости)	Форма	Характер поверхностей
Эндогенные Экзогенные	Растяжение Сжатие	Метаморфизм Тектоника (плиткативные и дизъюнктивные дислокации) Выветривание	Перпендикулярное Отсутствует	С параллельными или смыкающимися ограничивающими поверхностями	Ровные, гладкие без следов перемещения в виде борозд, штрихов, волнистых струй или зеркал скольжения
Гипергенные	Растяжение		То же	Клиновидная	Неоднородные бугорчатые

Таблица 5.3

Признаки приближенного определения марки углей по микроскопическим особенностям витрена и кларена

Характер блеска	Число эндогенных трещин на 5 см длины прослойка блестящих углей	Марка угля
Тусклый	До 3	Плотный бурый
Смоляной	До 7	Блестящий бурый
Жирный смоляной	7—12	Длинопламенный:
Жирный	12—25	Газовый
Жирно-стеклянный	25—60	Жирный
Стеклянный	35—60	Коксовый
Сухой стеклянный	15—30	Тощий
Металлический	7—15	Антрацит

Антрацитам присущ металлический блеск. Характер блеска и частота эндогенных трещин могут использоваться для приближенного определения марки блестящего и полублестящего угля (табл. 5.3).

Многие свойства углей и их внешний облик обусловлены количественным соотношением слагающих их микрокомпонентов. Микрокомпонентом, или мацералом, называется элементарная составная часть углей, образовавшихся из одинакового исходного материала в сходных условиях. Микрокомпоненты разделяются на органические и неорганические (минеральные). Под микроскопом они различаются по цвету отражательной способности, показателям преломления, структуре и микро-рельефу. В зависимости от детальности и целей исследования в углях устанавливают или отдельные микрокомпоненты, или их группы (табл. 5.4).

Таблица 5.4

Номенклатура микрокомпонентов каменных углей
(по СТ СЭВ 5431-85)

Группа, индекс	Микрокомпонент, индекс
Витринит Vt	Телинит Vt _t
Семивитринит Sv	Коллинит Vt _k
	Семителинит SVt
	Семиколлинит SVk
Инертинит I	Семифюзинит Isf
	Макринит Ima
	Фюзинит If
	Склеротинит Isk
	Инертодетринит Id
	Микринит Imi
Липтинит L	Споринит Lsp
	Кутинит Lkt
	Резинит Lr
	Суберинит Ls
	Альгинит Lal
	Липтодетринит Lld
Минеральные включения M	Глинистый материал Mgl
	Сульфиды железа Ms
	Карбонаты Mk
	Кварц Mkr
	Прочие Mpr

В землистых бурых углях, в которых еще не прошли процессы витринизации, вместо витринита, в соответствии с ГОСТ 12112—78, выделяется гуминит Н. В группу гуминита входят гумотелинит Нт, гумодетринит Нд и гумоколлинит Нк.

Примерный микрокомпонентный состав литотипов приведен в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Литотип	Содержание, %	
	витринита	инертинита, липтинита и минеральных примесей
Витрен	100	—
Блестящий — кларен	> 75	< 25
Полублестящий — дюрено-кларен	60—75	25—40
Полуматовый — кларено-дюрен	45—60	40—55
Матовый — дюрен	45	> 55
Фюзен	—	100 (инертинита)

Эволюция наземной растительности и определенные различия условий углеобразования в отдельные геологические периоды привели к формированию углей разного петрографического состава. Так, девонские угли представлены преимущественно кутикуловыми липтобиолитами (Барзасское месторождение). Для нижнекарбоновых характерно наличие массивных оболочек макро- и микроспор. Содержание липтинита в них часто достигает 20—35 %, а витринита редко превышает 50—65 % (Кизеловский, Донецкий и Подмосковский бассейны). Нередко в них встречаются прослои и линзы гумусово-сапропелевых и сапропелевых углей (Подмосковский и Львовско-Волынский бассейны). В последующие периоды исходный материал обстановки угленакопления становится все более разнообразным.

В среднем и позднем карбоне произошло обособление двух различных флористических провинций — Вестфальской и Тунгусской.

Угли Вестфальской провинции, преимущественно кларенового состава, формировались в результате анаэробного разложения лигнинно-целлюлозных тканей, в основном стеблевых. Количество витринита в них обычно превышает 75—80 %, липтинита колеблется от 5 до 15 %, а инертинита редко превышает

10—12 % (Донецкий бассейн, угли среднего карбона). Угли Тунгусской провинции имеют обычно низкое (не более 1—2 %) содержание липтинита и высокое (до 30—40 %) инертинита (Кузнецкий, Тунгусский бассейны).

Образование раннепермских углей происходило в основном за счет древесины кордаитов и протекало в ряде случаев в условиях слабообводненных лесных торфяников, что приводило к интенсивной фюзенизации растительных тканей. Содержание инертинита в них нередко достигает 50—60 % (Кузнецкий и Тунгусский бассейны). Наименьшее содержание инертинита свойственно раннепермским углям Печорского бассейна. Разнообразен петрографический состав углей пермского возраста Монголии, Индии, КНР и Австралии.

Позднепермские угли существенно отличаются по исходному материалу и условиям накопления от раннепермских. В них преобладает витринит, образовавшийся из стеблевых и, что особенно характерно, листовых тканей. Содержание инертинита в позднепермских углях обычно не превышает 5—15 %, редко возрастает до 25 % (Кольчугинская серия Кузнецкого бассейна), а липтинита не более 5 %. При этом наиболее распространенным липтинитовым компонентом является кутинит. Значение листовых тканей в формировании углей не снижается, а в ряде месторождений юрского и мелового возраста (Южно-Якутский и Ленский бассейны) даже возрастает. Существенные различия обстановок угленакопления в мезозойское время привели к возникновению в бассейнах Средней Азии, Сибири и большинства стран Азии и Америки углей весьма «пестрого» петрографического состава.

Угли палеогенового и неогенового периодов характеризуются довольно однообразным вещественным составом. Во всех известных месторождениях этого возраста преобладают пласты угля, сложенные витринитом. Иногда отдельные слои их обогащены липтинитом (преимущественно резинитом).

Необходимо подчеркнуть, что в ряде случаев определяющее влияние на петрографический состав углей оказывал не геологический возраст и связанная с ним эволюция растительного мира и обстановок угленакопления, а климатические, тектонические и другие факторы углеобразования. Поэтому разновозрастные угли нередко более существенно отличаются по петрографическому составу, чем угли, сформировавшиеся в разные геологические периоды. Например, в углях раннемезозойских месторождений Средней Азии содержание инертинита (фюзи-

нита и семифюзинита) нередко превышает 60—70 %, а в одно-возрастных углях Канско-Ачинского и Иркутского бассейнов оно редко достигает 10 %. Это, по-видимому, объясняется тем, что эволюция растений приводила к резкому изменению их внешнего вида, но в то же время она мало отражалась на соотношении в растениях целлюлозы, лигнина, гемицеллюлозы, белковых и других веществ. Состав органической массы растений-углеобразователей был довольно постоянным: содержание основных компонентов было следующим (в %): С—48-50, О₂—38-42, Н—6-6,5, N—9,5-2,3.

Следовательно, особенности петрографического состава углей отдельных бассейнов (табл. 5.6) определяются не только временем формирования угленосных толщ, но и геотектоническими, и палеогеографическими условиями образования угольных пластов в этих бассейнах.

Таблица 5.6

Содержания основных групп микрокомпонентов
в углях отдельных бассейнов

Бассейн	Возраст	Содержание в чистом угле, %			
		внутри- нита	семи- внутри- нита	липти- нита	инер- тинита
Донецкий	C ₁	48—57	1—5	19—27	20—25
	C ₂ —C ₃	70—95	2—5	3—15	3—15
Кузнецкий	C ₂ —P ₁	30—80	10—20	0—2	10—50
	P ₂	65—90	3—7	1—3	3—20
Карагандинский	C ₁ —C ₂	40—60	5—20	1—6	15—35
	C ₂ —C ₃	63—81	2—10	3—12	5—24
Печорский	P ₁ —P ₂	68—84	5—12	0—2	10—20
Кизеловский	C ₁	38—58	3—5	20—30	15—37
Подмосковный	C ₁	36—57	4—8	10—15	18—40
Львовско- Волынский	C ₁	65—87	3—7	3—9	7—20
Канско-Ачинский	J ₁₋₂	56—97	3—35	1—5	2—40
Южно-Якутский	J ₃ —K ₁	75—95	2—6	1—3	3—18

Элементный состав. Под элементарным составом в химии угля понимают содержание основных элементов — углерода, водорода, кислорода, азота и органической серы — в его органической части. Образова сложные по молекулярному строению вещества, перечисленные элементы присутствуют во всех видах твердых горючих ископаемых. Кроме них в состав органиче-

ской массы угля входят фосфор и некоторые редкие элементы, содержание которых обычно не превышает тысячных, а иногда и миллионных долей процента.

Прямым химическим анализом устанавливается содержание углерода, водорода, азота и серы. Количество кислорода, как правило, рассчитывается по разностям. Содержание углерода от бурых углей к антрацитам возрастает от 69 до 96 %. Концентрация водорода в гумусовых углях изменяется от 1,3 до 6,5 %, при этом в бурых углях она колеблется от 4 до 6,5 %; в каменных — от 3,5 до 6 % и в антрацитах — от 1,3 до 3 % и существенно зависит от их петрографического состава: увеличивается с ростом количества липтинита и уменьшается в фюзинитовых разностях. Максимальная концентрация водорода (до 7,5—10,5 %) отмечается в сапропелитовых углях.

Содержание кислорода в углях следующее (в %): в бурых — 20—30, каменных — 2—18, антрацитах — 0,1—2. Концентрация азота в гумусовых углях изменяется от 0,3 до 3 %. Максимальна она в углях пермского возраста (Кузнецкий, Тунгусский, Минусинский, Таймырский и Печорский бассейны) — почти в 2 раза выше, чем в карбоновых (Донецкий, Карагандинский бассейны и др.) и юрских (Иркутский, Южно-Якутский и Канско-Ачинский бассейны).

Сера в ископаемых углях присутствует в трех типах соединений — сульфидах (в основном пирит), органических веществах (меркоптан, тиофен и др.) и сульфатах. Соотношение ее в углях в форме неорганических и органических соединений колеблется в широких пределах. Угли, залегающие в бассейнах европейской части СНГ, отличаются преимущественно высокой сернистостью ($> 1,5\%$); в частности, в углях отдельных бассейнов ее количество варьирует в следующих пределах (в %): Днепропетровском — 3,5—5; Донецком — 1,5—4,5; Львовско-Вольнском — 2,5—4,5; Кизеловском — 5—7,5; Подмосковном — 3—7,8. К малосернистым ($< 1\%$) относится большая часть углей Канско-Ачинского, Кузнецкого и Южно-Якутского бассейнов.

При энергетическом использовании сернистых углей сера (кроме сульфатной) переходит в SO_2 и удаляется с дымовыми газами, вызывая загрязнение атмосферы, а также коррозию котлов, дымоходов и аппаратуры. При коксовании значительная часть серы из угля попадает в кокс, что существенно снижает его качество.

Фосфор в углях, так же, как и сера, является вредной примесью. Его концентрация редко превышает сотые доли процента, однако в некоторых случаях даже при содержании 0,02 % угли не могут применяться для получения специальных сортов металлургического кокса. Угли Донбасса обычно содержат менее 0,01 % фосфора, а Кузбасса — до 0,02 %. При коксовании углей фосфор переходит в кокс, из которого в доменном процессе поступает в металл и придает ему хладноломкость.

Групповой состав. В составе ископаемых углей обычно выделяют следующие группы веществ — битумы, гуминовые кислоты, фульвокислоты (в т. ч. гиматомеланевые) и продукт, остающийся после извлечения из углей битумов и гуминовых кислот — остаточный уголь.

Битумы являются продуктами превращения смол и восков растений-углеобразователей. Они подразделяются на две группы веществ — углеводороды и смолы. Наибольшую ценность в битумах имеет восковая часть, называемая горным воском.

Каменные угли содержат не более 1 % битумов, бурые — от 2 % (Подмосковный бассейн) до 8 % и более (Днепропетровский и Южно-Уральский бассейны). Битумы из углей извлекают бензолом или бензином. В битумах, извлеченных бензином из углей Днепропетровского бассейна, концентрация восков изменяется от 70 до 83 %, а смол — от 17 до 30 %. В битумах, полученных из углей Южно-Уральского бассейна, количество воска не превышает 30 %.

Гуминовые кислоты извлекаются из углей растворами щелочей. Они подразделяются на фульвокислоты (растворяются в воде), гиматомеланевые (растворяются в спирте) и гумусовые (нерастворимые в воде и спирте).

Физические и физико-механические свойства углей

Широкое применение методов петрологии, которые позволяют разделять сложность состава и степень метаморфизма углей, открыло большие возможности для прогноза их различных свойств по результатам лабораторных исследований. Углететрографические исследования выявили тесную зависимость физико-механических и химико-технологических свойств от петрографического состава, степени метаморфизма и восстановленности углей. Это стало особенно очевидным в результате применения количественных методов характеристики петрографического состава и степени метаморфизма угля,

что дало возможность не только понять причины, определившие те или другие свойства углей, но в ряде случаев осуществлять уверенный прогноз этих свойств.

Оптические свойства. Цвет ископаемых углей изменяется от желтовато-коричневого до серовато-черного и черного. Некоторые сапропелевые угли характеризуются оливково-зеленым цветом. Блеск угля варьирует в широких пределах и тесно связан с петрографическим составом. Наибольшим блеском характеризуются витрен и кларен. Дюрен и фюзен отличаются матовым блеском. Блеск одних и тех же составляющих угля существенно возрастает при метаморфизме. Так, витрен в бурых углях имеет тусклый смоляной блеск, в каменных средних стадий метаморфизма — стеклянный, а в антрацитах — яркий металлический (см. табл. 5.3).

Основным показателем оптических свойств углей, нашедшим широкое применение для оценки метаморфизма, является отражательная способность витринита. Числовое значение отражательной способности R_0 (в %) представляет собой отношение интенсивности света, отраженного от полированной поверхности, и вертикально падающего на нее. Этот показатель неодинаков у различных микрокомпонентов углей. В связи с этим он рассматривается в качестве главного показателя при их диагностике под микроскопом. Наибольшее значение R_0 , характерно для микрокомпонентов группы инертинита, наименьшее — для липтинита.

Витринит занимает промежуточное положение. Его отражательная способность считается в настоящее время наиболее надежным показателем степени метаморфизма углей.

На основе отражательной способности витринита, определяемой в иммерсионном масле R_0 или воздушной среде R_a , разработана шкала метаморфизма углей (табл. 5.7).

Выявление степени метаморфизма углей по отражательной способности витринита имеет ряд преимуществ по сравнению с другими показателями, используемыми для этих целей — такими как выход летучих веществ V^{daf} , содержание углерода C^{daf} и др. Эти преимущества заключаются в следующем:

- 1) в стратиграфическом разрезе угленосных толщ R_0 изменяется сублинейно;

- 2) по показателю R_0 можно оценивать степень метаморфизма углей сложного петрографического состава, при этом особенно, важно, что R_0 устанавливается по веществу в его

природном состоянии без сжигания, растворения и других видов деструкции.

Физико-механические свойства углей, такие как прочность, трещиноватость, метаноемкость, выбросоопасность, наряду с другими факторами (мощность, угол падения угольных пластов и пр.) обуславливают основные проектные показатели при сооружении горных предприятий и выбор оборудования и машин для добычи.

Таблица 5.7

Отражательная способность витринита, находящегося на различных стадиях углеобразовательного процесса

Уголь	Стадия	R_o %	10 R_o усл. ед.
Бурый	O ₁	0,26	58
	O ₂	0,26—0,41	58—66
	O ₃	0,42—0,52	—
Каменный	I	0,5—0,64	70—76
	II	0,65—0,84	77—82
	II ₃ —III	0,85—0,99	83—86
	III	1—1,14	87—90
	IV	1,15—1,49	91—97
	IV—V	1,5—1,74	96—102
	V	1,75—1,99	103—107
	IV	2—2,47	108—115
Антрацит	VI—VIII	2,48—3,49	116—130
	VIII—IX	3,5—4,7	131—145
	IX—X	> 4,7	>145

Механическая прочность рассматривается как способность угля противостоять ударам и истиранию и имеет большое значение при оценке пригодности углей для газификации, получения термоантрацитов для электродного и литейного производства.

От прочности и *трещиноватости* зависит гранулометрический состав добываемых углей, значение которого необходимо при выборе схем и средств транспорта, типа и количества технологического оборудования шахт, разрезов и обогащательных фабрик, а также при планировании показателей по выпуску и выходу сортового топлива.

И.П. Болдыревым определено сопротивление резанию углей Прокопьевско-Киселевского района Кузбасса и показана его взаимосвязь с литотипным составом, содержанием микро-

компонентов группы витринита и стадий метаморфизма углей. Было выявлено, что с увеличением содержания витринита снижалось сопротивление резанию углей (рис. 5.1). Угли марок К отличались минимальной прочностью, марок Г и Д — максимальной.

С прочностью углей в пластах связано также такое явление, как внезапные выбросы газа и пыли в шахтах. Установлено, что при прочности угля в пласте свыше 1,96 усл. ед. (по шкале М.М. Протоdjаконова) пласт можно отнести к невыбросоопасным.

Влияние петрографического состава на прочностные свойства углей при их добыче, транспортировании и переработке обуславливается взаимосвязью петрографического состава, с одной стороны, и трещиноватости, пористости и прочности материала, слагающего уголь — с другой.

Трещиноватость углей определяет такое важное их свойство, как *дробимость*. От нее зависит состав углей по крупности при их добыче, транспортировании и на подготовительных стадиях процессов переработки.

Текстурно-структурные особенности углей оказывают воздействие не только на выраженность отдельных групп трещин, но также на легкость разрушения угля при добыче и технологическом использовании. Действительно, чем однороднее уголь, чем реже в нем встречаются фюзеновые прослои, тем труднее он раскалывается по плоскостям наслоения (хотя в ряде случаев имеет аналогичный петрографический состав с полосчатыми углями). Витринитовые полосы, имеющие повышенную хрупкость и трещиноватость являются ослабленными швами в угле и способствуют его расчленению по наслоению при механических воздействиях. Инертинит создает ослабленные участки в

угле только тогда, когда он скапливается в отдельных прослоях в виде довольно крупных фрагментов.

Гранулометрический состав добываемых углей в немалой степени

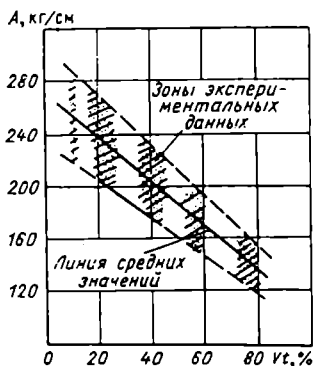
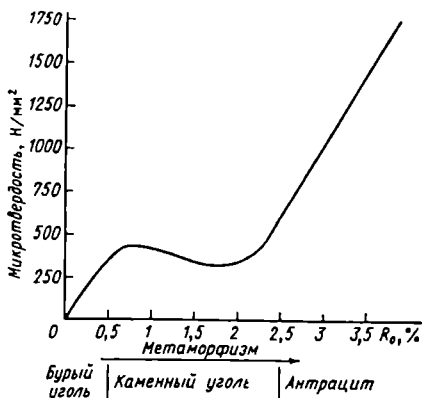


Рис. 5.1. Изменение сопротивления резанию углей A в зависимости от содержания компонентов группы витринита

Рис. 5.2. Микротвердость витринита углей разных стадий метаморфизма

зависит от эндогенной трещиноватости, а она в свою очередь — от петрографического состава и стадии метаморфизма угля. Наибольшей эндогенной трещиноватостью характеризуются витринитовые угли средних стадий метаморфизма (III, IV, V). При их разработке в добытом угле преобладают куски размером менее 6 мм.



Рассматривая влияние петрографических особенностей на интенсивность проявления экзогенной трещиноватости, можно отметить ее широкое развитие в пачках блестящего и полублестящего углей с большим содержанием витринита. Как правило, в пластах, в которых наряду с пачками полуматового и матового присутствуют пачки блестящего и полублестящего углей, последние оказываются более интенсивно трещиноватыми, а иногда и перемяты нацело, что приводит к повышенному выходу мелких классов угля при выемке.

При прочих равных условиях уголь, находящийся на средних стадиях метаморфизма, имеет более развитую экзогенную трещиноватость, чем на низких и высоких, что обусловлено характером изменения физико-химических свойств углей при метаморфизме. Экзогенная трещиноватость в некоторых случаях оказывает очень большое влияние на механическую прочность угля. Уголь пачек пласта, интенсивно разбитых экзогенными трещинами, при малейших воздействиях рассыпается в пыль или распадается на мелкие линзовидные кусочки (перемятый уголь).

Для углей, предназначенных к сжиганию в пылевидном состоянии, важное значение имеет их *размолоспособность*, которая оценивается по затратам энергии на измельчение.

Нередко механическая прочность углей оценивается по их твердости. Минералогическая твердость углей по шкале Мооса изменяется от 1 до 5. Твердость витринита в бурых углях не превышает 2, а в антрацитах достигает 4. Микротвердость отдельных микрокомпонентов колеблется в широких пределах и

существенно изменяется при метаморфизме угля. Витринит в бурых углях имеет микротвердость 100—200 Н/мм², в каменных 300—500 Н/мм², а в антрацитах — до 2000 Н/мм² (рис. 5.2). Микротвердость липтинита в каменных углях не превышает 250 Н/мм², а инертинита варьирует от 500 до 1500 Н/мм².

Плотность d — масса единицы объема угля (кг/м³, г/см³) без учета пор и трещин. Плотность углей в процессе их метаморфизма сначала постепенно снижается и приобретает минимальное значение (1,27—1,28 г/см³) при содержании углерода в угле 85—87 %. Затем она повышается, достигая максимума (1,5—1,8 г/см³) в антрацитах. С увеличением содержания в угле минеральных примесей плотность его повышается в среднем примерно на 0,01 % на каждый процент зольности.

Из петрографических микрокомпонентов, составляющих каменные угли, наибольшей плотностью (1,48—1,5 г/см³) обладает инертинит, наименьшей (1,12—1,18 г/см³) — липтинит (рис. 5.3).

Склонность углей к окислению и самовозгоранию связана с их вещественным составом. При открытой разработке, в целиках, оставляемых в шахтах, при транспортировании и хранении угли окисляются кислородом воздуха и нередко самовозгораются. Кроме того, при окислении изменяются технологические свойства углей вплоть до полной потери пригодности их для определенных видов потребления (например, для коксования).

На самовозгорание углей также оказывает большое воздействие и степень их метаморфизма. В общем случае, чем ниже стадия метаморфизма угля, тем большую склонность он имеет к самовозгоранию.

Исследование петрографического состава углей, различных по стадии метаморфизма и самовозгораемости, показало, что с увеличением содержания в них инертинита склонность угля к самовозгоранию повышается. Возможно, это обусловлено неодинаковыми сорбционными свойствами витринита и инертинита-фюзинита I_f (рис. 5.4).

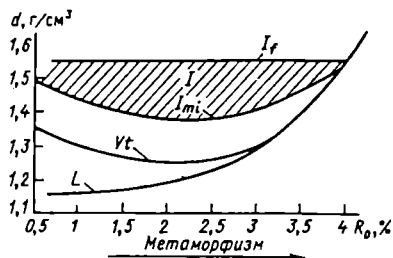
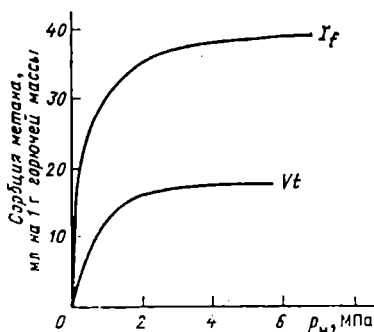


Рис. 5.3. Зависимость плотности отдельных петрографических составляющих угля — инертинита I (фюзинита I_f и микроинертинита I_{mi}), витринита Vt и липтинита L — от стадии его метаморфизма

Рис. 5.4. Различия в сорбционных свойствах витринита Vt и фюзинита I_f при изменении давления метана p_m в угле III стадии метаморфизма



Для оценки зависимости пожароопасности шахт от горно-геологических факторов Г.Е. Иванченко с соавторами обработали статистические данные об эндогенных пожарах, происходивших на шахтах Карагандинского бассейна. В качестве показателя пожароопасности шахты они использовали частоту пожаров Q , в период эксплуатации данной шахты. Было установлено, что из всех рассмотренных факторов наибольшее влияние оказывал такой, как содержание фюзинита (инертинита) в угле: $Q_1 = H (AF^2 + B)$, где H — мощность угольного пласта, м; F — содержание фюзинита (инертинита), % (по объему); A и B — некоторые постоянные, которые для Карагандинского бассейна имеют следующие значения: $A = 0,44$; $B = 0,014$.

Пожароопасность угольных пластов, несомненно связана со склонностью слагающих углей к самовозгоранию. Склонность углей к самовозгоранию устанавливается лабораторными испытаниями по методике МакНИИ путем определения газовой характеристики S .

Работы, проведенные Г.Н. Крикуновым в Карагандинском бассейне, позволили установить, что между содержанием инертинита (фюзинита) в углях и газовой характеристикой S наблюдается зависимость, которая описывается уравнением прямой $S = 4,73 + 0,73F$.

Петрографический состав углей влияет также на количество поглощаемого кислорода и выделяющихся при окислении угля (при $t = 200^\circ\text{C}$) CO_2 и CO .

Технический анализ твердых горючих ископаемых

В технический анализ объединяются методы, предназначенные для определения в углях и горючих сланцах зольности, содержания влаги, серы и фосфора, выхода летучих веществ, теплоты сгорания, спекаемости, коксуетости и некоторых других характеристик качества и технологических свойств. В ряде слу-

чаев, когда известно направление использования какого-либо угля в промышленности, проводится неполный технический анализ, т.е. определяются только влажность и зольность угля.

Результаты технического анализа позволяют установить следующие параметры и показатели:

1) марки и технологические группы углей отдельных шахтопластов в процессе геологоразведочных работ на основе принятых для данного бассейна классификационных параметров;

2) наиболее рациональные направления применения твердых горючих ископаемых в народном хозяйстве;

3) соответствие нормам качественных характеристик добываемого и отгружаемого потребителям топлива;

4) закономерности изменения отдельных показателей качества углей и горючих сланцев в условиях естественного залегания в пределах шахтных полей и месторождений;

5) изменения качественных характеристик углей и горючих сланцев в процессе разработки и в результате обогащения.

Влажность. В угле выделяются несколько разновидностей влаги: поверхностная, общая (состоящая из внешней влаги и влаги воздушно-сухого угля), пирогенетическая и гидратная.

Поверхностная влага находится на внешней поверхности частиц измельченного при добыче угля и свободно стекает при его хранении и транспортировке.

Общая влага выделяется из угля при высушивании его до постоянной массы при температуре 105—110 °С. Внешняя влага представляет собой ту ее часть, которая испаряется из измельченного угля при высушивании его в лабораторных условиях до воздушно-сухого состояния, а влага воздушно-сухого угля — ту, которая остается в угле после доведения его до воздушно-сухого состояния.

Пирогенетическая влага образуется при термической деструкции органических веществ, слагающих уголь.

Гидратной называется влага, входящая в состав минеральных примесей.

Общая влага рабочей массы W_r является одним из основных показателей качества угля. В землистых бурых углях массовая доля ее достигает 60 %, в плотных бурых снижается до 16 %, в каменных — до 4—6 %, но в антрацитах несколько повышается по сравнению с каменными углями — до 5—8 %.

Внешняя влага служит причиной смерзаемости углей при транспортировке в вагонах в зимнее время (при ее содержании

в угле более 5 %), а также слеживаемости угля в бункерах и слипании угольной мелочи при классификации по крупности. Высокая влажность отрицательно сказывается на теплотехнических и технологических свойствах угля.

Зольность — выход негорючего остатка (зола) после выжигания горючей части топлива и удаления летучих соединений. Негорючий остаток (зола) образуется в результате прокаливания и полного окисления минеральных составляющих топлива и частично элементов, входящих в состав их органических соединений. Для углей различают внутреннюю и внешнюю зола.

Внутренняя зола формируется за счет химически связанных с органическим веществом золообразующих компонентов или минеральных примесей, находящихся в органическом веществе угля в тонкодисперсном состоянии. *Внешняя зола* возникает за счет более крупных минеральных включений в угольных пластах, а также за счет пород, находящихся в виде прослоев и вмещающих угольные пласты. Эти породы попадают в уголь при добыче. Содержание внутренней зола в наиболее чистых разностях углей Донбасса составляет 1,2—7,5 %, Кузбасса 1,9—5,9 %, Карагандинского бассейна — 3,4—9,2 %. Внешняя зольность в углях может достигать нескольких десятков процентов.

Повышение зольности в углях снижает тепловой эффект при их сжигании, отрицательно влияет на эффективность их переработки, в частности, на технологию коксования и качества кокса.

Выход летучих веществ. При пиролизе (термическом разложении) угля из него образуются летучие вещества и твердый нелетучий углеродистый остаток. Летучие вещества состоят из паров жидких продуктов, конденсирующихся при охлаждении до комнатной температуры, и газов — CO, CO₂ предельных и непредельных углеводородов (преимущественно CH₄). Выход летучих веществ — важная характеристика, с давних пор используемая в качестве одного из основных параметров в промышленной классификации углей — как показатель, отражающий их химическую зрелость.

Выход летучих веществ из антрацитов составляет менее 10 %, в бурых углях обычно превышает 40 %, а для каменных колеблется от 10 до 50 %. Он существенно зависит от петрографического состава угля. Наиболее высоким выходом летучих веществ при прочих равных условиях отличаются микрокомпоненты группы липтинита, наименьшим — инертинит (рис. 5.5).

Изменение элементного состава гумусовых углей и высшей удельной теплоты их сгорания (в пересчете на сухое беззольное состояние) на различных стадиях метаморфизма

Стадия метаморфизма	$C_{daf}^{\%}$	$H_{daf}^{\%}$	$O_{daf}^{\%}$	$N_{daf}^{\%}$	$Q_{daf}^{\text{Дж/г}}$
O ₁	63—71	4,4—6,3	20—28	0,7—1	25,3—28,9
O ₂	65—76	4,1—5,3	17—24	0,1—1,2	25,5—29,7
O ₃	68—77	4—5,8	16—22	1—1,4	27,6—32,6
I	74—60	5,1—5,7	12—16	1—2,5	30,6—33,5
II	79—83	5,2—5,9	8—12	1,3—2,5	32,2—34,7
III	83—87	5—5,6	5—9	1,1—2,5	34,5—35,8
IV	87—90	4,7—5,1	3—6	1,1—2,5	34,7—36,8
V	89—91	4,2—4,2	2,5—3	1,1—2,5	35,4—36,6
VI	90—92	3,7—4,4	2—3	1—2,5	34,5—36,2
VII—VIII	90—95	1,8—3,7	1—2	1—1,5	35,1—35,6
IX—X	94—97	1—2	До 1	До 1	33,5—33,9

Твердый нелетучий остаток состоит из углерода и продуктов разложения минеральных примесей, находящихся в угле. Бурым углям и антрацитам свойствен неспекающийся порошкообразный остаток, каменным углям средних стадий метаморфизма (III—IV) — сплавленный вспученный. Характер нелетучего остатка позволяет дать ориентировочную оценку спекаемости углей.

Теплота сгорания. Удельная теплота сгорания является одной из важнейших характеристик твердых горючих ископаемых, применяемой для теплотехнических расчетов, сопоставления теплотехнических свойств углей различных месторождений, марок углей между собой и с другими видами топлива, для разделения бурых и камен-

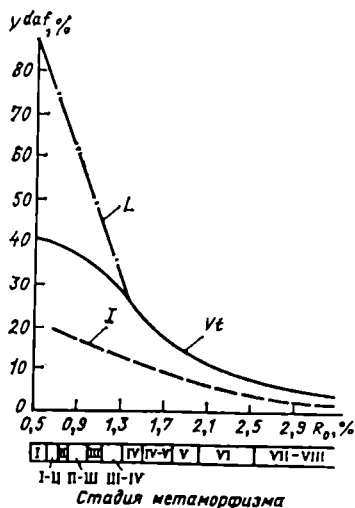
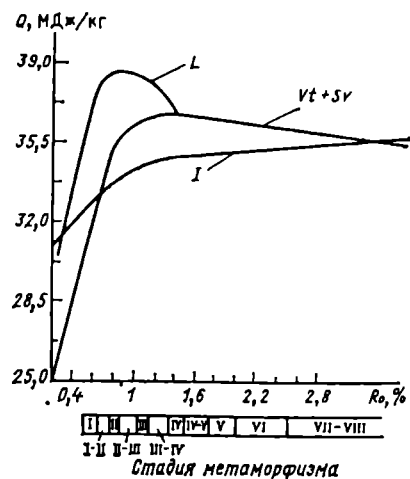


Рис. 5.5. Изменение выхода летучих веществ $V_{daf}^{\%}$ из микрокомпонентов группы випринита VI, инертинита I и лигнитинита L на различных стадиях метаморфизма углей

Рис. 5.6. Изменение теплоты сгорания Q компонентов группы витринита и семивитринита $Vt + Sv$, липтинита L и инертинита I на различных стадиях метаморфизма углей



ных углей и установления их окисленности. Этот показатель изменяется при метаморфизме угля (табл. 5.8); максимальные значения теплоты сгорания характерны для липтинита (рис. 5.6).

Спекаемость — это свойство каменного измельченного угля переходить при нагревании без доступа воздуха в пластическое состояние и образовывать пористый монолит. Спекаемость в углях проявляется на границе I и II стадий метаморфизма, достигает максимума на III и исчезает на VI.

Способностью спекаться обладают газовые, жирные, коксовые, отощенные коксовые и отощенные спекающиеся угли (бурые, длиннопламенные, тощие угли и антрациты не спекаются), а из слагающих угли петрографических микрокомпонентов — витринит, липтинит и частично семивитринит. Спекаемость угля представляет собой основной показатель, по которому оценивается его пригодность для использования в коксохимической промышленности.

Первое представление о спекаемости может дать характер нелетучего коксового остатка — королька, полученного в тигле при определении выхода летучих веществ.

По внешнему виду и прочности различают порошкообразный, слипшийся (при легком нажиме рассыпается в порошок), слабоспекшийся (при легком нажиме пальцем раскалывается на отдельные кусочки), спекшийся несплавленный (для раскалывания на отдельные кусочки необходимо приложить усилие), сплавленный невспученный (плоская лепешка с серебристым нелетучим остатком) и сплавленный вспученный (вспученный нелетучий остаток с серебристым металлическим блеском поверхности) корольки.

Нелетучий остаток бурых углей и антрацитов — неспекшийся порошкообразный, у длиннопламенных и тощих углей он

изменяется от порошкообразного до слабоспекшегося. Спекши-
еся и сплавленные корольки типичны для углей средних стадий
метаморфизма (от газовых до отощенно-спекающихся).

Для количественной оценки спекаемости наибольшее рас-
пространение в нашей стране получил пластометрический мето-
д Л.М. Сапожникова. Этот метод заключается в определении
на пластометрическом аппарате в условиях, предусмотренных
ГОСТ 1186—87, следующих числовых значений:

- усадки x ;
- конечного уменьшения объема угля при переходе его из
полукокса в кокс и толщины пластического слоя y ;
- максимального расстояния между границами твердых
фаз (неизмененного угля и полукокса), где уголь находится
в пластическом состоянии.

Спекаемость углей, выражаемая толщиной пластического
слоя, существенно зависит от их петрографического состава
(рис. 5.7) и имеет максимальные значения в витринитовых уг-
лях на III стадии метаморфизма ($R_0 = 0,86—1$).

Коксуемость — это способность смеси угольных зерен в за-
данных условиях подготовки и коксования образовывать твер-
дый углеродистый остаток (кокс) необходимой крупности и
прочности.

Оценивается коксуемость прямыми и косвенными метода-
ми. *Прямые методы* предусматривают коксование испытуемого
угля или смеси углей (шихты) в лабораторных или полужавод-

ских условиях с последую-
щим изучением физико-ме-
ханических свойств полу-
ченного кокса. В лаборатор-
ных условиях исследуются
пробы массой 3 кг (ГОСТ
9251—74), а в полужаводских
— массой 50 кг (опытное кок-

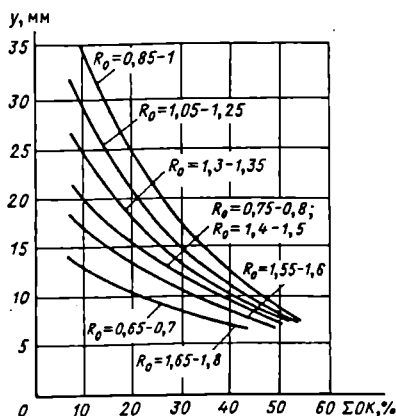


Рис. 5.7. Изменение толщины пластического слоя в зависи-
мости от содержания отощающих компонентов ($\Sigma OK = I_f + 2/3S_v$) в углях различных
стадий метаморфизма

Рис. 5.8. Зависимость качества кокса от содержания отожающих веществ ΣOK в угле III стадии метаморфизма (R_o , 0,95—1,1 %)

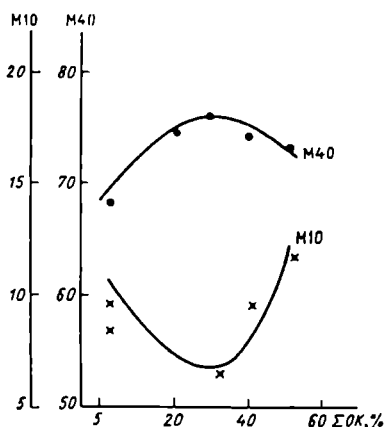
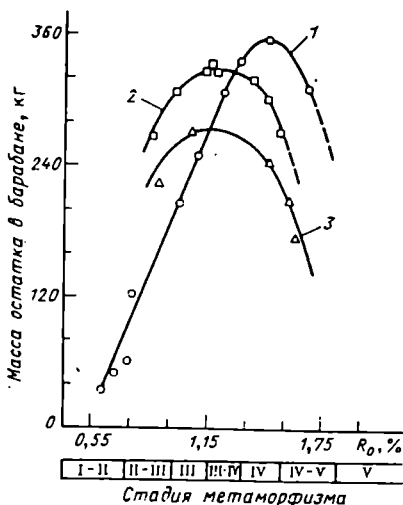


Рис. 5.9. Изменение качества кокса при метаморфизме углей, содержащих различное количество отожающих компонентов: 1 — 8—15 %; 2 — 28—35 %; 3 — 38—45 %



сование проводится в металлических ящиках, помещаемых в коксовые печи) или 200—300 кг (в небольших коксовых печах). Физико-механические свойства кокса, полученного при опытном коксовании, выявляются путем испытания его в большом или малом барабанах в соответствии с требованиями государственных стандартов. При этом определяются две характеристики — дробимость кокса М40 и истираемость — М10. При испытании кокса в большом барабане (Сундгрена) устанавливают его остаток в барабане после 150 оборотов и содержание мелочи (< 10 мм) в провале.

Качество кокса находится в тесной зависимости от петрографического состава (рис. 5.8) и степени метаморфизма угля (рис. 5.9).

Косвенные методы основаны на установленных взаимосвязях между петрографическими характеристиками, элементарным составом и спекаемостью, с одной стороны, и коксуемостью — с другой.

Обогащаемость углей устанавливается на основе определения гранулометрического (ситового) и фракционного состава.

При выявлении гранулометрического состава уголь рассеивается на ситах с круглыми отверстиями диаметром 150, 100 и 50 мм и с квадратными отверстиями размером 25×25, 6×6, 1×1 и 0,5×0,5 мм. Фракционный анализ выполняют путем расслоения проб углей на отдельные классы в тяжелых жидкостях плотностью 1,3, 1,4, 1,5, 1,6 и 1,8 г/см³ (водный раствор хлористого цинка). Фракционный анализ угля с крупностью частиц менее 1 мм проводится методом центрифугирования.

По результатам фракционного анализа определяются выход отдельных фракций угля и их качество. Степень обогатимости угля условно устанавливают по суммарному выходу средних (промежуточных) фракций плотностью 1,4—1,8 г/см³, выраженному в процентах и отнесенному к беспородной массе (с плотностью менее 1,8 г/см³).

Уголь различных категорий обогатимости характеризуется следующим выходом промежуточных фракций (в %): легкой — менее 4, средней — 4—10, трудной — 10—17 и очень трудной — более 17.

Угли отдельных пластов и бассейнов имеют весьма различную обогатимость. Наиболее труднообогатимыми являются угли Карагандинского и Экибастузского бассейнов.

5.3. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕЙ

Промышленные и промышленно-генетические классификации

Выбор первоочередных участков для детальной разведки и шахтного строительства зависит не только от географического положения угольных месторождений, горно-геологических условий залегания угольных пластов и запасов полезного ископаемого, но в значительной мере и от марочной принадлежности углей.

Это обусловлено тем, что для ряда направлений промышленного использования пригодны угли вполне определенного марочного состава. Например, для производства металлургического кокса применяются в основном угли средних стадий метаморфизма, обладающие способностью при нагревании переходить в пластическое состояние. Наиболее ценными из них являются угли марок ГЖ, Ж, КЖ, К, КО и ОС.

Марочная принадлежность углей устанавливается на основе положения их в системе существующих *промышленных классификаций*. До последнего времени промышленные классификации разрабатывались применительно к углям отдельных стран и бассейнов (табл. 5.9). Они базировались главным образом на различиях углей, обусловленных их неодинаковым метаморфизмом. Так, по содержанию естественной влаги (в %) бурые угли подразделялись на следующие технологические группы: Б1 — более 40; Б2—30—40; Б3 — менее 30.

В качестве классификационных параметров каменных углей использовались выход летучих веществ V^{daf} и спекаемость, выражаемая толщиной пластического слоя y , индексом свободного вспучивания, индексом Рога R_1 , характеристикой нелетучего остатка и др. В течение длительного времени в СССР каменные угли разделялись на девять технологических марок: длиннопламенные Д, газовые Г, газовые жирные ГЖ, жирные Ж, коксовые жирные КЖ, коксовые К, коксовые вторые К2, отощенные спекающиеся ОС и тощие Т. Для углей некоторых бассейнов (Кузнецкого, Южно-Якутского) дополнительно выделялась марка слабоспекающихся углей СС. По выходу летучих веществ угли этой марки соответствуют углям марок ГЖ, Ж, КЖ и К, но обладают очень низкой спекаемостью (вследствие особенностей петрографического состава или окисленности).

Угли марок Г, Ж, К и ОС в ряде бассейнов дополнительно разделялись на технологические группы (Г6, Г16, Г17, 1Ж26, 2Ж26, Ж13, Ж21 и др.), где цифра у буквенного обозначения марки указывает наименьшую толщину пластического слоя для углей данной технологической группы.

Таблица 5.9

**Промышленные классификации углей
Донецкого и Кузнецкого бассейнов**

Мар- ка	Донецкий (ГОСТ 8180—75)			Кузнецкий (ГОСТ 8162—79)		
	техноло- гическая группа	V^{daf} %	y , мм	техноло- гическая группа	V^{daf} %	y , мм
1	2	3	4	5	6	7
Д	—	35 и более	6	—	37	—
Г	Г6	35 и более	6—10	Г6	37	6—16
	Г11		11—25	Г17		17—25
ГЖ	ГЖ6	27—35	6—10	—	31—37	6—25
	ГЖ11		11—16			

1	2	3	4	5	6	7
Ж	<u>Ж17</u>	27—35	<u>17 – 20</u>	<u>ГЖ26</u>	33	26 и более
КЖ	<u>Ж21</u>	Не выделяется	21 и более	<u>2Ж26</u>	33 и менее	26 и более
				<u>КЖ14</u>	25—31	14—25
				<u>КЖ6</u>		6—13
К	<u>К21</u>	28—27	<u>21 и более</u>	<u>К13</u>	25	13—25
К2	<u>К14</u>	Не выделяется	14—20	<u>К10</u>	17—25	10—12
СС		Не выделяется		—	17—25	6—9
		Не выделяется		<u>СС</u>	<u>25—37</u>	(18 и более)
				<u>2СС</u>	17—25	(17 и менее)
Т	—	9—17	(13)	—	Менее 17	(15 и менее)
А	—	8	—	—	—	—

Промышленные классификации имеют решающее значение при оценке пригодности углей для того или другого направления их использования в промышленности. В то же время классификации, основанные только на химико-технологических параметрах, оказались недостаточно надежными для прогноза поведения углей в различных технологических процессах. Принятые в них технологические параметры плохо отражают сложное и многоплановое влияние на состав и свойства углей основных геолого-генетических факторов углеобразования. Недостаточность характеристик подобных классификаций приводила к тому, что угли различных бассейнов одних и тех же технологических групп оказывались неважнозаменимыми в коксовых шихтах и даже на энергетических установках. По используемым в этих классификациях параметрам практически невозможно оценить пригодность угля для большинства направлений его нетопливного использования.

Анализ и обобщение большого числа данных научных исследований в области изучения состава и свойств ископаемых углей, а также опытно-промышленных испытаний и многолетнего опыта использования углей в различных отраслях народного хозяйства, позволил И.И. Амосову и его ученикам сделать вывод о том, что рациональная классификация углей должна базироваться на параметрах, характеризующих главные осо-

бенности углей: степень метаморфизма, петрографический состав и степень восстановленности. В соответствии с этим была разработана *промышленно-генетическая классификация углей* (ГОСТ 25543—88 «Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам»; введена в действие 1 января 1990 г. взамен всех существовавших бассейновых классификаций).

В этой классификации стадия метаморфизма устанавливается по наиболее признанному в мировой науке свойству угля — отражательной способности витринита R_o (в %), а петрографический состав выражен содержанием (в %) фюзенизированных компонентов ΣOK . Для характеристики степени восстановленности в этой классификации использованы в основном технологические параметры, которые одновременно служат связующим звеном с действовавшими долгое время в различных странах и бассейнах промышленными классификациями.

В качестве технологических приняты следующие параметры:

- для бурых углей — максимальная влагоемкость на беззольное состояние W_{\max}^{af} и выход смолы полукоксования на сухое беззольное состояние T_{sk}^{daf} ;
- для каменных углей — выход летучих веществ на сухое беззольное состояние V^{daf} , толщина пластического слоя y и индекс Рога R_1 ;
- для антрацитов — объемный выход летучих веществ на сухое беззольное состояние $V_{об}^{daf}$ и анизотропия отражения витринита A_R .

Эти параметры применяются в настоящее время при оценке углей как сырья для различных направлений использования.

При геологоразведочных работах каждый угольный пласт опробовывается. Для каждой пробы изучается петрографический состав, проводится элементный, групповой и технический анализы с целью выявления химического состава углей и значений основных показателей их состава — R_o , A , W , V , y , Q и др.

Определение классификационных параметров должно проводиться в соответствии с государственными стандартами:

- показатель отражения витринита R_o — ГОСТ 12113—83;
- содержание фюзенизированных компонентов на чистый уголь ΣOK — ГОСТ 9414—74 и ГОСТ 12112—78;

- максимальная влагоемкость на беззольное состояние для бурых углей W_{\max}^{af} — ГОСТ 7303—77;
- выход смолы полукоксования на сухое беззольное состояние T_{sk}^{daf} — ГОСТ 3168—87;
- индекс Рога — ГОСТ 9318—79;
- анизотропия отражения витринита A_R — ГОСТ 12113—83.

Ископаемые угли в зависимости от значения среднего показателя отражения витринита R_o , теплоты сгорания на влажное беззольное состояние Q_s^{af} и выхода летучих веществ на сухое беззольное состояние V^{daf} разделяются на следующие виды: бурые, каменные и антрациты (табл. 5.10).

В свою очередь, угли бурые, каменные и антрациты в зависимости от генетических особенностей подразделяются на классы, категории, типы и подтипы.

Классы выделяются по среднему показателю отражения витринита R_o в масляной иммерсии в соответствии с таблицей 5.11 (всего 50 классов).

Таблица 5.10

Виды ископаемых углей

Вид угля	R_o , %	Q_s^{af} , мДж/кг	Выход летучих веществ на сухое беззольное состояние $V_{\%}^{daf}$
Бурый	Менее 0,6	Менее 24	—
Каменный	От 0,4 до 2,59 включительно	24 и более	8 и более
Антрацит	2,2 и более	—	Менее 8

Таблица 5.11

Классы каменных углей

Класс угля	Средний показатель отражения витринита R_o , %	Класс угля	Средний показатель отражения витринита R_o , %
02	от 0,2 до 0,29 включ.	27	2,7—2,79
03	0,3—0,39	28	2,8—2,89
04	0,4—0,49	29	2,9—2,99
05	0,5—0,59	30	3—3,09
06	0,6—0,69	31	3,1—3,19
07	0,7—0,79	32	3,2—3,29
08	0,8—0,89	33	3,3—3,39
09	0,9—0,99	34	3,4—3,49

Класс угля	Средний показатель отражения витринита R_o %	Класс угля	Средний показатель отражения витринита R_o %
10	1—1,09	35	3,5—3,59
11	1,1—1,19	36	3,6—3,69
12	1,2—1,29	37	3,7—3,79
13	1,3—1,39	36	3,8—3,89
14	1,4—1,49	39	3,9—3,99
15	1,5—1,59	40	4—4,09
16	1,6—1,69	41	4,1—4,19
17	1,7—1,79	42	4,2—4,29
18	1,8—1,89	43	4,3—4,39
19	1,9—1,99	44	4,4—4,49
20	2—2,09	45	4,5—4,59
21	2,1—2,19	46	4,6—4,69
22	2,2—2,29	47	4,7—4,79
23	2,3—2,39	48	4,8—4,89
24	2,4—2,49	49	4,9—4,99
25	2,5—2,59	50	5 и более
26	2,6—2,69		

Категории выделяются по содержанию фюзенизированных компонентов на чистый уголь, т.е. $\Sigma OK = F + 2/3Sv$ в соответствии с табл. 5.12 т.е. 8 категорий.

Таблица 5.12

Категории углей

Категория угля	Сумма фюзенизированных компонентов ΣOK %
0	Менее 10
1	От 10 до 19 включительно
2	От 20 до 29
3	От 30 до 39
4	От 40 до 49
5	От 50 до 59
6	От 60 до 69
7	Более 69

Основание для выделения *типов* в различных видах угля — бурых, каменных и антрацитах различно.

Бурые угли разделяются на 6 типов по максимальной влагоемкости на беззольное состояние, т.е. W_{\max}^{af} , % в соответствии с табл. 5.13.

Каменные угли разделяются на 21 тип по выходу летучих веществ на сухое беззольное состояние V^{daf} , % в соответствии с табл. 5.14.

Антрациты разделяются на 4 типа по объемному выходу летучих веществ на сухое беззольное состояние $V_{об}^{daf}$, см³/г в соответствии с табл. 5.15.

Таблица 5.13

Типизация бурых углей

Тип угля	Максимальная влагоемкость W_{\max}^{af} , %
10	Менее 20
20	От 20 до 30
30	От 30 до 40
40	От 40 до 50
50	От 50 до 60
60	От 60 до 70

Таблица 5.14

Типизация каменных углей

Тип угля	Выход летучих веществ V^{daf} , %	Тип угля	Выход летучих веществ V^{daf} , %
48	48 и более	26	От 26 до 28
46	От 46 до 48	24	24—26
44	44—46	22	22—24
42	42—44	20	20—22
40	40—42	18	18—20
38	38—40	16	16—18
36	36—38	14	14—16
34	34—36	12	12—14
32	32—34	10	10—12
30	30—32	08	8—10
28	28—30		

Таблица 5.15

Типизация антрацитов

Тип угля	Объемный выход летучих веществ V_{sk}^{daf} , %
20	Более 200
15	Более 150 до 200 включительно
10	От 100 до 150
05	Менее 100

Аналогичным образом каждый вид угля подразделяется на подтипы — 4 подтипа для бурых, 23 подтипа для каменных, 6 подтипов для антрацитов.

Бурые угли подразделяются на 4 подтипа по выходу смолы полукоксования на сухое беззолное состояние T_{sk}^{daf} в соответствии с таблицей 5.16.

Таблица 5.16

Подтипы бурых углей

Подтип угля	Выход смолы полукоксования T_{sk}^{daf}
20	Более 20
15	Свыше 15 до 20 включительно
10	От 10 до 15
5	10 и менее

Каменные угли разделяются на 23 подтипа по толщине пластического слоя y и индексу Рога в соответствии с табл. 5.17.

Антрациты разделяются на 6 подтипов по величине анизотропии отражения A_R % в соответствии с табл. 5.18.

В зависимости от технологических свойств ископаемые угли объединяются в технологические марки, которые, в свою очередь включают группы и подгруппы (табл. 5.19). Всего выделяются 17 марок. Бурые угли относятся к одной марке — Б. Каменные угли относятся к 15 маркам — Д, ДГ, Г, ГЖО, ГЖ, Ж, КЖ, К, КО, КСН, КС, ОС, ТС, СС, Т. Антрациты к одной марке А.

В то же время бурые угли разделяются на 3 группы, каменные на 21 группу, а антрациты на 3 группы. Аналогичным образом, среди бурых углей установлено 4 подгруппы. Каменные угли разделяются на 34 подгруппы, а антрациты на 6 подгрупп (таблица 5.19).

При определении качества углей (для удобства обработки и использования) информация об их наиболее общих признаках, отражающих генетические особенности и основные технологические характеристики, кодируется. С этой целью бурые, каменные угли и антрациты обозначаются семизначными кодовыми номерами, в которых заключены сведения об их основных классификационных параметрах.

Первые две цифры, составляющие двузначное число, указывают на класс угля (табл. 5.19) и характеризуют минималь-

ное значение показателя отражения витринита (R_0 %) для данного класса, умноженное на 10, т.е. $10R_0$, в соответствии с табл. 5.11.

Таблица 5.17

Подтипы каменных углей

Подтип угля	Толщина пластического слоя u , мм	Индекс Рога ед. R_1	Подтип угля	Толщина пластического слоя u , мм	Индекс Рога ед. R_1
26*	26		14	14	
25	25		13	13	
24	24		12	12	
23	23		11	11	
22	22		10	10	
21	21		09	9	
20	20		08	8	
19	19		07	7	
18	18		06	6	
17	17		01	Менее 6	13 и более
16	16		00	Менее 6	Менее 13
15	15				

* Для значений u выше 26 мм номер подтипа соответствует абсолютному значению показателя толщины пластического слоя в мм.

Таблица 5.18

Подтипы антрацитов

Подтип	Анизотропия отражения витринита A_R , %
20	Менее 30
30	От 30 до 40 включительно
40	Свыше 40 до 50 включительно
50	От 50 до 60
60	От 60 до 70
70	Более 70

Третья цифра, составляющая однозначное число, указывает на категорию угля и характеризует минимальное значение суммы фюзенизированных компонентов ΣOK для данной категории, деленное на 10, т.е. $\Sigma OK/10$ в соответствии с табл. 5.12.

Четвертая и пятая цифры составляют двузначное число, указывают на тип угля и несут информацию о классификационном параметре, на основании которого эта типизация проводится.

Для бурых углей они характеризуют максимальную влагоемкость для углей данного типа на беззольное состояние ($W_{\max}^{\text{эф}}$, %) в соответствии с табл. 5.13.

Для каменных углей — минимальное значение выхода летучих веществ для углей данного типа на сухое беззольное состояние (V^{daf} , %) в соответствии с табл. 5.14.

Для антрацитов — указывают минимальное значение объемного выхода летучих веществ для углей данного типа на сухое беззольное состояние ($V_{об}^{daf}$, см³/г) деленное на 10, т.е. $V_{об}^{daf}/10$, в соответствии с табл. 5.15.

Шестая и седьмая цифры, составляющие двузначное число, указывают на подтип угля и характеризуют параметры, на основании которых он выделяется.

Для бурых углей — это минимальное значение выхода смолы полукоксования на сухое беззольное состояние, т.е. T_{sk}^{daf} в соответствии с табл. 5.16.

Для каменных углей — абсолютное значение толщины пластического слоя y (мм) в соответствии с табл. 5.17.

Для антрацитов — минимальное значение анизотропии отражения витринита A_R % для данного подтипа в соответствии с табл. 5.18.

Таким образом, в кодовом номере указывается класс, категория, тип и подтип угля. Зная их, мы по табл. 5.19 устанавливаем марку, группу и подгруппу угля.

В ряде угольных бассейнов разнообразие марочного состава углей связано не только с проявлением регионального метаморфизма, а в значительной степени с содержанием в них основных групп микрокомпонентов (рис. 5.8) и степенью восстановленности органической массы. Поэтому нередко изометаморфные угли с близкими значениями показателя отражения витринита R_o могут относиться к трем-четырем, а иногда к пяти-шести различным маркам. Например, при показателе отражения витринита R_o от 0,8 до 0,89 % (класс 08 по ГОСТ 25543—88) может иметь четыре марки угля — Г, ГЖО, ГЖ, Ж, а класс II (R_o от 1,1 до 1,19 %) характерен для шести марок — Ж, КЖ, К, КО, КС и СС. В некоторых случаях разнообразие марочного состава углей связано с проявлениями термального и контактового метаморфизма (Тунгусский, Таймырский и другие бассейны).

Марочная классификация ископаемых углей (ГОСТ 25543—88)

Марка	Группа		Подгруппа		Класс	Категория	Тип	Подтип
	Наименование	Наименование	Обозначение	Наименование				
Бурый	Б	Первый бурый	1Б	—	02, 03	Все категории	50 и выше	05, 10, 15, 20
		Второй бурый	2Б	Второй бурый витринный	02, 03, 04	0, 1, 2, 3	30, 40	05, 10, 15, 20
				Второй бурый фюзинный	02, 03, 04	4 и выше	30, 40	05, 10, 15
		Третий бурый	3Б	Третий бурый витринный	03, 04, 05	0, 1, 2, 3	10, 20	05, 10, 15, 20
				Третий бурый фюзинный	04, 05	4 и выше	10, 20	05, 10

Марка	Группа		Подгруппа		Класс	Категория	Тип	Подтип	
	Наименование	Наименование	Обозначение	Наименование				Толщина пластического слоя у, мм	Индекс R _{0a} , R ₁ ed
Д	Длиннопламенный	—	—	Длиннопламенный витринитовый	ДВ	0, 1, 2, 3	40 и выше 36 и выше 34 и выше 30 и выше	00, 01	
ДГ	Длиннопламенный газозовый	—	—	Длиннопламенный газозовый витринитовый	ДГВ	0, 1, 2, 3	32 и выше	06, 07, 08, 09	
ДГ	Длиннопламенный газозовый	—	—	Длиннопламенный газозовый витринитовый	ДГВ	0, 1, 2, 3	30 и выше 28 и выше 30 и выше	00, 01	
ДГ	Длиннопламенный газозовый	—	—	Длиннопламенный газозовый витринитовый	ДГВ	0, 1, 2, 3	30 и выше 28 и выше 30 и выше	06, 07, 08, 09	
ДГ	Длиннопламенный газозовый	—	—	Длиннопламенный газозовый витринитовый	ДГВ	0, 1, 2, 3	30 и выше 28 и выше 30 и выше	06, 07, 08, 09	

Марка	Группа		Подгруппа		Класс	Категория	Тип	Подтип	
	Наименование	Наименование	Обозначение	Наименование				Толщина плавящего слоя у, мм	Индекс Рога, R/ед
Газовый	Г	Первый газовый	1Г	Первый газовый витринный	1ГВ	0, 1, 2, 3	38 и выше 30 и выше	10, 11, 12 06, 07, 08, 09	
		Второй газовый	2Г	—	—	Все категории	38 и выше	13, 14, 15, 16	
Газовый жироточенный	ГЖО	Первый газовый жироточенный	1ГЖО	Первый газовый жироточенный витринный	1ГЖОВ	0, 1, 2, 3	30, 32, 34, 36	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16	
		Второй газовый жироточенный	2ГЖО	Первый газовый жироточенный фюзинный Второй газовый жироточенный витринный	1ГЖОФ 2ГЖОВ	4 и выше 0, 1, 2, 3	30, 32, 34, 36 30, 32, 34, 36	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16	

		ный ото- щен- ный		тринито- вый						
				Второй га- зовый жи- щенный фюзини- товый	2ГЖОФ	08, 09 08	4 и выше Все катего- рии	30 и выше 36 и выше	10, 11, 12, 13 14, 15, 16	
Газо- вый жи- рный	ГЖ	Пер- вый га- зо- вый жи- рный	1ГЖ	—	—	05, 06, 07	Все катего- рии	30 и выше	17 и выше	
		Вто- рой га- зовый жи- рный	2ГЖ	—	—	08, 09	Все катего- рии	36 и выше	17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25	
Жирный	Ж	Пер- вый жи- рный	1Ж	—	—	08 09, 10, 11	Все категории	28, 30, 32, 34 30, 32, 34	14, 15, 16, 17	
		Вто- рой жи- рный	2Ж	—	—	08,09 10, 11	Все категории	36 и выше 30,32, 34 30 и выше	26 и выше 18 и выше 18 и выше	
Коксо- вый жи- рный	КЖ	—	—	—	—	09, 10, 11, 12	Все катего- рии	24*, 26, 28	18 и выше	

Наименование	Марка		Группа		Подгруппа		Класс	Категория	Тип	Подтип	
	Обозначение	Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение	Средний показатель отражения витринита R_0 , %	Содержание флюоризированных компонентов на частый уголь ΣOK , %	Выход летучих веществ $V_{\text{лет}}$, %	Толщина на пластическом слое U , мм	Индекс R_0 , R и R и d	
Коксовый	К	Первый коксовый	1К	Первый коксовый витринитовый	1КВ	10, 11, 12	0, 1, 2, 3	24, 26, 28	13, 14, 15, 16, 17 13 и выше		
		Второй коксовый	2К	Второй коксовый витринитовый	2КВ	13, 14, 15, 16	0, 1, 2, 3	28 и ниже	13 и выше		
Коксовый отощенный	КО	Первый коксовый отощенный	1КО	Первый коксовый отощенный витринитовый	1КОВ	08, 09, 10, 11	0, 1, 2, 3	22, 24, 26, 28	10, 11, 12		
		Второй коксовый отощенный	2КО	Второй коксовый отощенный витринитовый	2КОВ	13, 14, 15, 16	4 и выше	28 и ниже	13 и выше		

	шен- ный		Первый коксовый отощен- ный флю- зинитовый	1КОФ	08, 09	4 и выше	22, 24, 26, 28	10, 11, 12	
					10, 11	0, 1, 2, 3	20 и выше		
	Вто- рой коксо- вый отощен- ный	2КО	Второй коксовый отощен- ный вит- ринитовый	2КОВ	11 12 13	0, 1, 2., 3	16, 18, 20 28 и ниже	10, 11, 12	
				2КОФ	11 12 13	4 и выше	16, 18 28 и ниже 22, 24, 26	10, 11, 12	
	—	—	Коксовый слабоспе- кающий низкомета- морфизо- ванный витрини- товый	КСНВ	08, 09, 10	0, 1, 2, 3	28 и ниже	06, 07, 08, 09	
				КСНФ	08, 09, 10	4 и выше	28 и ниже	06, 07, 08, 09	
Коксо- вый слабо- спека- ющий низко- мета- морфи- зован- ный	КСН								

Марка	Группа		Подгруппа		Класс	Категория	Тип	Подтип	
	Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение				Толщина плас- тического слоя у, мм	Индекс Р _{ог} , R/ед
Коксо- вый слабо- спекаю- щийся	КС	Пер- вый коко- вый слабо- спека- ющийся	Первый кокосовый слабоспека- ющийся ви- триновый	1КСВ	11, 12, 13	0, 1, 2, 3	28 и ниже	06, 07, 08, 09	
			Первый кокосовый слабоспе- кающийся фюзини- товый	1КСФ	11, 12, 13	4 и выше	28 и ниже	06, 07, 08, 09	
	Вто- рой коко- вый слабо- спека- ющийся	2КС	Второй кокосовый слабоспека- ющийся ви- трино- вый	2КСВ	14 15, 16	0, 1, 2, 3	24 и ниже	06, 07, 08, 09 06, 07, 08	
			Второй кокосовый слабоспе- кающийся фюзинито- вый	2КСФ	14, 15, 16	4 и выше	24 и ниже	06, 07, 08, 09	

Отощенный спекающийся	ОС	Первый отощенный спекающийся	ИОС	Первый отощенный спекающийся витринговый	ИОСВ	13, 14 15, 16 17	0, 1, 2, 3	20 и ниже	10, 11, 12 09, 10, 11, 12 10, 11, 12	
				Первый отощенный спекающийся фюзинтовый	ИОСФ	13, 14, 15, 16, 17	4 и выше	20 и ниже	10, 11, 12	
				Второй отощенный спекающийся витринговый	ЗОСВ	17 и выше	0, 1, 2, 3	20 и ниже	06, 07, 08, 09	
				Второй отощенный спекающийся фюзинтовый	ЗОСФ	17 и выше	4 и выше	20 и ниже	06, 07, 08, 09	
Тощий спекающийся	ТС	—	—	Тощий спекающийся виригитовый	ТСВ	14, 15, 16, 17, 18, 19	0, 1, 2, 3	20 и ниже	01	
				Тощий спекающийся фюзинтовый	ТСФ	14, 15, 16, 17, 18, 19	4 и выше	16, 18 16 и ниже	01	2 : 4

Марка	Группа		Подгруппа		Класс	Категория	Тип	Подтип	
	Наименование	Наименование	Обозначение	Средний показатель отражения R_0 , %				Толщина пластического слоя γ , мм	Индекс R_0 , R ед
Слабо-спекающийся	СС	Первый слабо-спекающийся	1СС	07	Все категории	20, 22, 24, 26, 28 34 и выше	00, 01	00, 01	
				08, 09					
				08, 09, 10, 11, 12, 13					
				08, 09, 10, 11, 12, 13, 14					
Тоший	Т	Первый тоший	1Т	08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	Все категории	20, 22, 24, 16, 18, 20, 22, 24 16, 18, 20 18, 20	00, 01 00, 01 00, 01 00	00, 01 00, 01 00, 01 00	2 : 4
				15, 16, 17, 18, 19, 20					
				13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20					
				13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20					
Тоший	Т	Первый тоший	1Т	15, 16, 17, 18, 19, 20	0, 1, 2, 3	12, 14, 16	00	00	2 : 4
				15, 16, 17, 18, 19, 20					
				15, 16, 17, 18, 19, 20					
				15, 16, 17, 18, 19, 20					
Тоший	Т	Первый тоший	1Т	15, 16, 17, 18, 19, 20	0, 1, 2, 3	12, 14, 16	00	00	2 : 4
				15, 16, 17, 18, 19, 20					
				15, 16, 17, 18, 19, 20					
				15, 16, 17, 18, 19, 20					
Тоший	Т	Первый тоший	1Т	15, 16, 17, 18, 19, 20	0, 1, 2, 3	12, 14, 16	00	00	2 : 4
				15, 16, 17, 18, 19, 20					
				15, 16, 17, 18, 19, 20					
				15, 16, 17, 18, 19, 20					

Антрацит	А	Первый антрацит	1А	Второй то- щий фюз- нитовый	2ТФ	15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25	4 и выше	08, 10	00	2 : 4
				Первый антрацит витрини- товый	1АВ	22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35	0, 1, 2, 3	20	60 и ниже	Классы 22—25 при $V_{\text{до}}$ менее 8 %
				Первый ан- трацит фю- зинитовый	1АФ	22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35	4 и выше	10 и выше	60 и ниже	То же
		Второй ан- трацит	2А	Второй ан- трацит вит- ринитовый	2АВ	36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44	0, 1, 2, 3	10 и выше	40 и выше	Подтип для углей контакто- вого ме- таморфи- зма 20 и выше
				Второй ан- трацит фю- зинитовый	2АФ	36, 37, 38, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44	4 и выше	10 и выше	40 и выше	То же
				Третий ан- трацит	3А	45 и выше	0, 1, 2, 3	15 и ниже	50 и выше	
		Третий ан- трацит	3А	Третий ан- трацит вит- ринитовый	3АВ	45 и выше	4 и выше	15 и ниже	50 и выше	
				Третий ан- трацит фю- зинитовый	3АФ	45 и выше	4 и выше	15 и ниже	50 и выше	

* Тип 24 при V_{25} % и более

** При $V_{\text{менее}}$ 25 %

Примеры определения марочной принадлежности и кодового номера ископаемых углей

Пример 1. Определение марочной принадлежности угля по кодовому номеру

Есть уголь с кодовым номером 1113218.

Он относится к классу II и имеет показатель отражения витринита $R_o = 1,1—1,19\%$ в соответствии с табл. 5.11. Далее, он принадлежит к категории 1 и имеет сумму фюзенизированных компонентов $\Sigma OK = 10—19\%$ в соответствии с табл. 5.12.

Кроме того, он относится к типу 32 и имеет выход летучих компонентов V^{daf} от 32 до 34 % в соответствии с табл. 5.14.

Данный уголь относится к подтипу 18 и имеет толщину пластического слоя 18 мм в соответствии с табл. 5.17.

По табл. 5.19 находим, что уголь имеет марку Ж (жирный), относится к группе 2Ж (второй жирный), а подгруппы для этих углей не предусмотрены.

Пример 2. Определение марочной принадлежности и кодового номера угля по результатам технического анализа.

Имеется уголь, для которого $R_o = 1,48\%$, $\Sigma OK = 43\%$, $V^{daf} = 18,3\%$, $y = 10$ мм.

Класс угля определяется по значению $10R_o$, т.е. $10 \times 1,48 = 14,8$, т.е. уголь относится к классу 14 в соответствии с табл. 5.11.

Категория угля определяется по ΣOK , деленной на 10, т.е. $43/10 = 4,3$, что указывает на принадлежность угля к категории 4 в соответствии с табл. 5.12.

Тип угля определяется по значению выхода летучих компонентов $V^{daf} = 18\%$, что указывает на его принадлежность к 18 типу в соответствии с табл. 5.14.

Подтип угля обусловлен толщиной пластического слоя $y = 10$ мм, т.е. уголь относится к подтипу 10, в соответствии с табл. 5.17.

Таким образом, кодовый номер угля будет 1441810. По табл. 8.19 находим, что данный уголь относится к марке ОС (отощенный спекающийся), к группе 1ОС (первый отощенный спекающийся), к подгруппе 1ОСФ (первый отощенный спекающийся фюзинитовый).

В ряде случаев возможно выявление углей, имеющих такое сочетание класса, категории, типа и подтипа, которое не предусмотрено в табл. 5.19. Отнесение таких углей к марке, группе и подгруппе проводится в соответствии только с их классом и подтипом, как показано в примере 3.

Пример 3. Определение марочной принадлежности и кодового номера угля в исключительных случаях.

Есть уголь, характеризующийся следующими показателями:

$R_o = 0,9 \%$, $\Sigma OK = 45 \%$, $V^{daf} = 28 \%$, $y = 13$ мм.

Класс угля определяется значением показателя отражения R_o умноженным на 10, т.е. $10 = 0,9 \times 10 = 9$, согласно табл. 5.11.

Категория угля определяется значением суммы фюзинированных компонентов ОК деленным на 10 $= 45/10 = 4,5$, что при округлении дает 4, согласно табл. 5.12.

Тип угля определяется значением выхода летучих компонентов на сухое беззольное состояние $V^{daf} = 28 \%$, что по табл. 5.14 равно 28.

Подтип угля определяется толщиной пластического слоя $y = 13$ мм, что в соответствии с табл. 5.17 дает 13.

Итак, уголь относится к классу 09, категории 4, типу 28, подтипу 13. Отсюда его кодовое число равно 0942813. В табл. 5.19 такое сочетание класса, категории, типа и подтипа отсутствует. Для определения марочной принадлежности берем только значение класса угля, т.е. 09 и подтипа, т.е. 13. В соответствии с этими показателями, используя табл. 5.19 находим, что данный уголь относится к марке ГЖО (газовый жирный отощенный), группе 2ГЖО (второй газовый жирный отощенный), подгруппе 2ГЖОФ (второй газовый жирный отощенный фюзинировый).

В заключение следует указать некоторые общие правила, действующие при определении марочной принадлежности углей.

1. Марку, группу, подгруппу угля устанавливают для каждого пласта. Пластовые пробы отбираются по ГОСТ 9815—75 или ГОСТ 11223—78 в каждом забое неокисленной зоны пласта. По каждой пробе определяют показатели, указанные в табл. 5.11—5.18, и по результатам анализов устанавливают кодовый номер. Марку, группу, подгруппу устанавливают по табл. 5.19.

2. В тех случаях, когда угли одного пласта на отдельных горизонтах или крыльях месторождения относятся к разным маркам, группам и подгруппам, кодовый номер, марку, группу и подгруппу устанавливают для каждого шахтного поля (участка).

3. Смешение углей пластов разных марок не допускается. В отдельных случаях, при соответствующем обосновании и с со-

гласия потребителя, допускается смешение углей разных марок в виде одной шахтовыдачи, а также смешение углей разных марок при обогащении и рассортировке.

4. При несогласованном смешении углей при добыче и обогащении и при отклонении долевого участия марок в смеси выше установленного предела, отгружаемая продукция относится к более низкой по технологической ценности марке.

5. Для установления марочной принадлежности угля шахтовыдачи по каждому пласту, участку, горизонту определяют показатели, предусмотренные в табл. 5.11—5.18. На основании полученных данных, с учетом запланированного участия каждого пласта, участка, горизонта в добыче, вычисляют средневзвешенное значение классификационных показателей и по табл. 5.19 определяют марку, группу и подгруппу шахтовыдачи.

6. Марку, группу, подгруппу и код смеси устанавливают расчетом средних значений классификационных параметров на основе планового участия шахтопластов.

7. Марку, группу, подгруппу и кодовой номер продуктов обогащения устанавливают по рядовому углю, поступающему в переработку. При совместном обогащении и рассортировке углей разных марок для переработки указывают доленое участие углей каждой марки в исходной шихте.

Международная система кодификации ископаемых углей

В Европе в настоящее время действует международная система кодификации, принятая Комитетом ЕЭК по углю в 1987 г. и утвержденная Европейской экономической комиссией в 1988 г. Она заменяет классификационную систему 1956 г.

Угли принято делить по рангам, выделяются угли низкого, среднего и высокого рангов. Угли низкого ранга соответствуют отечественным бурым углям. Угли среднего ранга — отечественным каменным углям, а угли высокого ранга — отечественным антрацитами. Принятая кодификация ориентирована на характеристику углей среднего и высокого рангов.

В основу кодификации положена система из 8 параметров, которые, с одной стороны, достаточно полно характеризуют специфические особенности углей, а с другой стороны, являются относительно простыми и могут быть легко и просто определены в достаточно оснащенной лаборатории. Такими показателями являются:

- отражательная способность витринита;

- рефлектограмма витринита, т.е. содержание в угле витринитов с различной отражательной способностью;
- мацеральный (микрокомпонентный) состав угля;
- индекс свободного вспучивания — характеристика спекаемости угля при скоростном нагреве, оцениваемая по форме королька;
- выход летучих веществ;
- зольность;
- общее содержание серы;
- высшая теплота сгорания.

Согласно принятой в Европе общей классификации углями низкого ранга считаются угли с высшей теплотой сгорания (на влажное беззольное состояние) менее 24 МДж/кг и средним показателем отражения витринита (\bar{R}_r) менее 0,6 %. Следует отметить, что упомянутое влажное беззольное состояние отвечает отечественному W^w , а 24 МДж/кг.

Углями более высокого ранга (т.е. среднего и высокого) считаются:

- угли с высшей теплотой сгорания (на влажное беззольное состояние) равной или превышающей 24 МДж/кг;
- угли с высшей теплотой сгорания (на влажное беззольное состояние) менее 24 МДж/кг при условии, что средний показатель отражения витринита равен или превышает 0,6 %.

В системе кодификации углей среднего и высокого рангов для характеристики углей используется 14 значный код, основанный на перечисленных выше 8 параметрах угля, которые позволяют получить информацию о ранге, типе и марке угля:

а) средний показатель отражения витринита (%) — две цифры;

б) характеристика рефлектограммы — одна цифра;

с) характеристика мацерального состава — две цифры;

д) индекс свободного вспучивания — одна цифра;

е) выход летучих веществ на сухое беззольное состояние — две цифры;

ф) зольность, сухое, состояние (% к массе) — две цифры;

г) общее содержание серы, сухое состояние (% к массе) — две цифры;

h) высшая теплота сгорания на сухое беззольное состояние (мДж/кг) — две цифры.

Кодирование основных параметров угля осуществляется по следующим правилам:

а) Первые две цифры кода обозначают отражательную способность витринита, соответствующую нижнему пределу 0,1 % диапазона значений среднего показателя витринита, умноженному на 10 (табл. 5.20);

б) Третья цифра дает характеристику рефлектограммы (табл. 5.21);

с) Четвертая и пятая цифры характеризуют микрокомпонентный состав угля, а именно:

четвертая цифра соответствует нижнему пределу 10 % диапазона (абсолютная величина) значений содержания инертинита (без минеральных веществ) деленному на 10;

пятая цифра обозначает верхний предел 5 % (абсолютная величина) диапазона значений содержания липтинита (без минеральных веществ) (табл. 5.22);

д) шестая цифра обозначает индекс свободного вспучивания, соответствующий нижнему пределу диапазона его значений с интервалом 1/2 (табл. 5.23);

е) Седьмая и восьмая цифры соответствуют нижнему пределу 2 % (абсолютная величина) диапазона значений выхода летучих веществ выше 10 % (в % к массе) и 1 % диапазона (абсолютная величина) при выходе летучих веществ менее 10 % (табл. 5.24);

ф) Девятая и десятая цифры соответствуют нижнему пределу 1 % (абсолютная величина) диапазона значений зольности по сухому состоянию (в % к массе) (табл. 5.25);

ц) Одиннадцатая и двенадцатая цифры соответствуют нижнему пределу 0,1 % (абсолютная величина) диапазона значений общего содержания серы на сухое состояние (в % к массе), умноженному на 10 (табл. 5.26);

h) Тринадцатая и четырнадцатая цифры соответствуют нижнему пределу диапазона значений высшей теплоты сгорания (с интервалом 1 мДж/кг) на сухое беззольное состояние (табл. 5.27).

Если один из параметров отсутствует, например, для антрацитов не указывается индекс вспучивания, то в соответствующем месте кода вместо шестой цифры ставится значок «х». Если параметр обозначается двумя цифрами, то ставится значок «хх».

Сводная система кодификации углей среднего и высокого рангов приведена в табл. 5.28.

Пример кодирования

Имеется коксующийся уголь со следующими параметрами:

Параметр	Значение	Код
Средний показатель отражения витринита	1,23	12
Характеристика рефлектограммы	$S = 0,16$	1
	Без разрывов	
Мацеральный состав (% к объему):		
инертинит	16	1
липтинит	7	2 12
Индекс свободного вспучивания	8	8
Выход летучих веществ (сухое беззольное состояние) % к массе	28	28
Зольность (сухое состояние) % к массе	75	07
Общее содержание серы (сухое состояние) % к массе	0,76	07
Высшая теплота сгорания (сухое беззольное состояние) мДж/кг	35,9	35

Номер кода: 12112828070735

Таблица 5.20

Средний показатель отражения витринита R_r

Код	Проценты	Код	Проценты
2	$0,2 \leq 0,29$	26	$2,6 \leq 2,69$
3	$0,3 \leq 0,39$	27	$2,7 \leq 2,79$
4	$0,4 \leq 0,49$	28	$2,8 \leq 2,89$
5	$0,5 \leq 0,59$	29	$2,9 \leq 2,99$
6	$0,6 \leq 0,69$	30	$3 \leq 3,09$
7	$0,7 \leq 0,79$	31	$3,1 \leq 3,19$
8	$0,8 \leq 0,89$	32	$3,2 \leq 3,29$
9	$0,9 \leq 0,99$	33	$3,3 \leq 3,39$
10	$1 \leq 1,09$	34	$3,4 \leq 3,49$
11	$1,1 \leq 1,19$	35	$3,5 \leq 3,59$
12	$1,2 \leq 1,29$	36	$3,6 \leq 3,69$
13	$1,3 \leq 1,39$	37	$3,7 \leq 3,79$
14	$1,4 \leq 1,49$	38	$3,8 \leq 3,89$
15	$1,5 \leq 1,59$	39	$3,9 \leq 3,99$
16	$1,6 \leq 1,69$	40	$4 \leq 4,09$
17	$1,7 \leq 1,79$	41	$4,1 \leq 4,19$

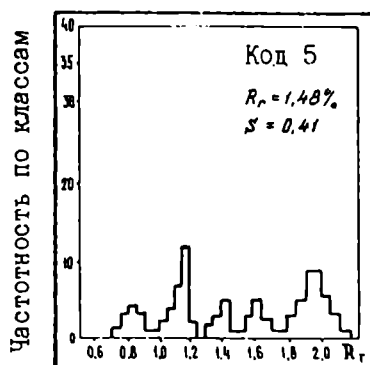
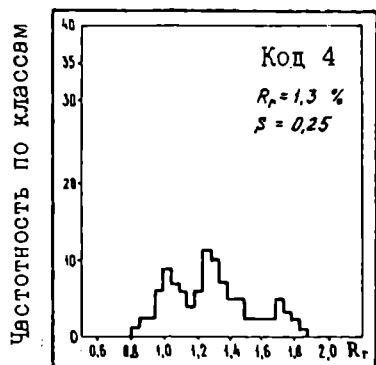
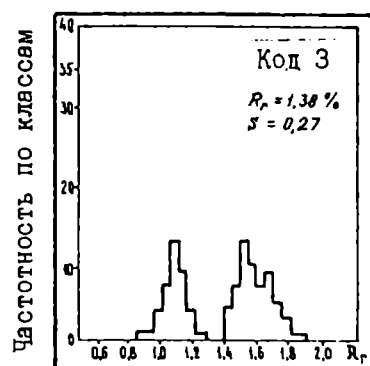
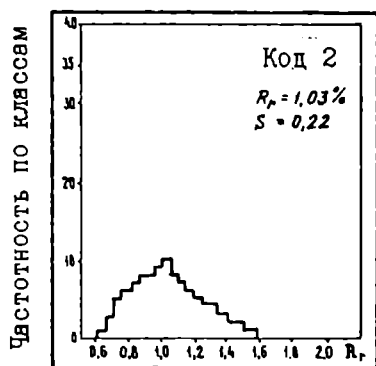
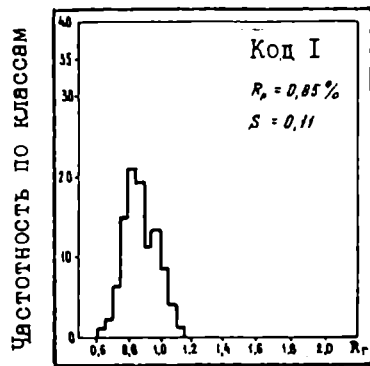
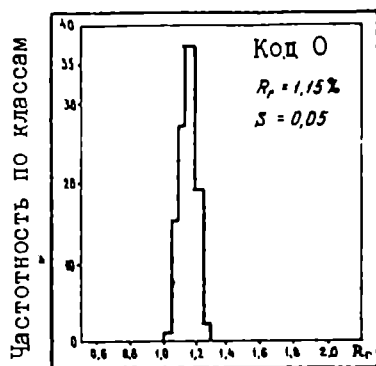


Рис. 5.10. Характеристика рефлектограмм, соответствующих различным кодам

Код	Проценты	Код	Проценты
18	$1,8 \leq 1,89$	42	$4,2 \leq 4,29$
19	$1,9 \leq 1,99$	43	$4,3 \leq 4,39$
20	$2 \leq 2,09$	44	$4,4 \leq 4,49$
21	$2,1 \leq 2,19$	45	$4,5 \leq 4,59$
22	$2,2 \leq 2,29$	46	$4,6 \leq 4,69$
23	$2,3 \leq 2,39$	47	$4,7 \leq 4,79$
24	$2,4 \leq 2,49$	48	$4,8 \leq 4,89$
25	$2,5 \leq 2,59$	49	$4,9 \leq 4,99$

Таблица 5.21

Характеристика рефлектограммы (см. рис. 5.10)

Код	Предусмотренное стандартом отклонение	Тип
0	$\leq 0,1$ без разрывов	Уголь в пласте
1	$> 0,1 \leq 0,2$ без разрывов	Простая смесь
2	$> 0,2$ без разрывов	Сложная смесь
3	Один разрыв	Смесь с одним разрывом
4	Два разрыва	Смесь с двумя разрывами
5	Более двух разрывов	Смесь с числом разрывов больше 2-х

Примечание: Рефлектограмма, обозначаемая кодом № 2, может также характеризовать уголь высокого ранга из пласта.

Таблица 5.22

Мацеральный состав

Содержание инертинита		Содержание лигнитинита	
Код (4-я цифра)	% к объему *	Код (5-я цифра)	% к объему *
0	от 0 до < 10	0	не кодируется
1	от 10 до < 20	1	от 0 до < 5
2	от 20 до < 30	2	от 5 до < 10
3	от 30 до < 40	3	от 10 до < 15
4	от 40 до < 50	4	от 15 до < 20
5	от 50 до < 60	5	от 20 до < 25
6	от 60 до < 70	6	от 25 до < 30
7	от 70 до < 80	7	от 30 до < 35
8	от 80 до < 90	8	от 35 до < 40
9	от 80 до < 90	9	≥ 40

* На состояние без минеральных веществ (а/)

Таблица 5.23

Индекс свободного вспучивания

Код	Индекс свободного вспучивания	Код	Индекс свободного вспучивания
0	0 — 1/2	5	5 — 5 1/2
1	1 — 1 1/2	6	6 — 6 1/2
2	2 — 2 1/2	7	7 — 7 1/2
3	3 — 3 1/2	8	8 — 8 1/2
4	4 — 4 1/2	9	9 — 9 1/2

Таблица 5.24

Выход летучих веществ

Код	% к массе (сухое беззольное состояние <i>daf</i>)	Код	% к массе (сухое беззольное состояние <i>daf</i>)
48	≥ — 48	18	18 — 20
46	46 — < 48	16	16 — 18
44	44 — < 46	14	14 — 16
42	42 — < 44	12	12 — 14
40	40 — < 42	10	10 — 12
38	38 — < 40	09	9 — 10
36	36 — < 38	08	8 — 9
34	34 — < 36	07	7 — 8
32	32 — < 34	06	6 — 7
30	30 — < 32	05	5 — 6
28	28 — < 30	04	4 — 5
26	26 — < 28	03	3 — 4
24	24 — 26	02	2 — 3
22	22 — 24	01	1 — 2
20	20 — 22		

Таблица 5.25

Зольность

Код	% к массе (сухое состояние) (<i>d</i>)	Код	% к массе (сухое состояние) (<i>d</i>)
00	От 0 до < 1	11	От 11 до < 12
01	От 1 до < 2	12	От 12 до < 13
02	От 2 до < 3	13	От 13 до < 14
03	От 3 до < 4	14	От 14 до < 15
04	От 4 до < 5	15	От 15 до < 16
05	От 5 до < 6	16	От 16 до < 17
06	От 6 до < 7	17	От 17 до < 18
07	От 7 до < 8	18	От 18 до < 19
08	От 8 до < 9	19	От 19 до < 20
09	От 9 до < 10	20	От 20 до < 21
10	От 10 до < 11		

Примечание. При кондиции углей с зольностью 21 % (сухое состояние) соблюдается вышеуказанная система кодирования, например, код № 24 соответствует зольности в интервале от 24 до 25 %.

Общее содержание серы

Код	% к массе (сухое состояние) (d)	Код	% к массе (сухое состояние) (d)
00	От 0 до < 0,1	16	От 1,6 до < 1,7
01	От 0,1 до < 0,2	17	От 1,7 до < 1,8
02	От 0,2 до < 0,3	18	От 1,8 до < 1,9
03	От 0,3 до < 0,4	19	От 1,9 до < 2,0
04	От 0,4 до < 0,5	20	От 2 до < 2,1
05	От 0,5 до < 0,6	21	От 2,1 до < 2,2
06	От 0,6 до < 0,7	22	От 2,2 до < 2,3
07	От 0,7 до < 0,8	23	От 2,3 до < 2,4
08	От 0,8 до < 0,9	24	От 2,4 до < 2,5
09	От 0,9 до < 1,0	25	От 2,5 до < 2,6
10	От 1 до < 1,1	26	От 2,6 до < 2,7
11	От 1,1 до < 1,2	27	От 2,7 до < 2,8
12	От 1,2 до < 1,3	28	От 2,8 до < 2,9
13	От 1,3 до < 1,4	29	От 2,9 до < 3,0
14	От 1,4 до < 1,5	30	От 3 до < 3,1
15	От 1,5 до < 1,6		

Примечание. При кондиции углей с общим содержанием серы более 3,1 % сохраняется вышеуказанная система кодирования, например, код номера 46 соответствует содержанию серы в интервале от 4,6 до 4,7 %.

Таблица 5.27

Высшая теплота сгорания

Код	МДж/кг (на сухое беззольное состояние) (daf)	Код	МДж/кг (на сухое беззольное состояние) (daf)
21	< 22	31	От 31 до < 32
22	От 22 до < 23	32	От 32 до < 33
23	От 23 до < 24	33	От 33 до < 34
24	От 24 до < 25	34	От 34 до < 35
25	От 25 до < 26	35	От 35 до < 36
26	От 26 до < 27	36	От 36 до < 37
27	От 27 до < 28	37	От 37 до < 38
28	От 28 до < 29	38	От 38 до < 39
29	От 29 до < 30	39	От 0,1 до < 0,2
30	От 30 до < 31		

Цифра	Средний показатель отражения витринита, %		Характеристика рефлектограммы (см. рис. 5.11)		Мацеральный состав, % к объему (без минеральных веществ) 4 — инертнит; 5 — липтинит			
	1; 2		3		4		5	
Код №	02	0,2—0,29	0		0	0—< 10	0	Не кодируется
	03	0,3—0,39	1		1	10—< 20	1	> 0—< 5
	04	0,4—0,49	2		2	20—< 30	2	5—< 10
	05	0,5—0,59	3		3	30—< 40	3	10—< 15
	06	0,6—0,69	4		4	40—< 50	4	15—< 20
	07	0,7—0,79	5		5	50—< 60	5	20—< 25
	08	0,8—0,89			6	60—< 70	6	25—< 30
	09	0,9—0,99			7	70—< 80	7	30—< 35
	10	1—1,09			8	80—< 90	8	35—< 40
	11	1,1—1,19			9	≥ 90	9	> 40
	12	1,2—1,29						
	13	1,3—1,39						
	14	1,4—1,49						
	15	1,5—1,59						
	16	1,6—1,69						
	17	1,7—1,79						
	18	1,8—1,89						
	19	1,9—1,99						
	20	2—2,09						
	21	2,1—2,19						
	22	2,2—2,29						
	23	2,3—2,39						
	24	2,4—2,49						
	25	2,5—2,59						
	26	2,6—2,69						
	27	2,7—2,79						
	28	2,8—2,89						
	29	2,9—2,99						
	30	3—3,09						
	31	3,1—3,19						
	32	3,2—3,29						
	33	3,3—3,39						
	34	3,4—3,49						
	35	3,5—3,59						
	36	3,6—3,69						
	37	3,7—3,79						
	38	3,8—3,89						
	39	3,9—3,99						

Сводная система кодификации углей

Индекс свободного вспучивания		Выход летучих веществ, % к массе (сухое беззольное состояние)		Зольность % к массе (сухое состояние)		Общее содержание серы, % к массе (сухое состояние)		Высшая теплота сгорания, МДж/кг (сухое беззольное состояние)	
6		7; 8		9; 10		11; 12		13; 14	
0	0—1/2	48	> 48	00	0—<1	00	0,0—<0,1	21	< 22
1	1—1 1/2	46	46—<48	01	1—<2	01	0,1—<0,2	22	22—< 23
2	2—2 1/2	44	44—<46	02	2—<3	02	0,2—<0,3	23	23—< 24
3	3—3 1/2	42	42—<44	03	3—<4	03	0,3—<0,4	24	24—< 25
4	4—4 1/2	40	40—<42	04	4—<5	04	0,4—<0,5	25	25—< 26
5	5—5 1/2	38	38—<40	05	5—<6	05	0,5—<0,6	26	26—< 27
6	6—6 1/2	36	36—<38	06	6—<7	06	0,6—<0,7	27	27—< 28
7	7—7 1/2	34	34—<36	07	7—<8	07		28	28—< 29
8	8—8 1/2	32	32—<34	08	8—<9	08		29	29—<30
9	9—9 1/2	30	30—<32	09	9—<10	09		30	30—< 31
		28	28—<30	10	10—<11	10		31	31—< 32
		26	26—<28	11	11—<12	11		32	32—<33
		24	24—<26	12	12—<13	12		33	33—< 34
		22	22—<24	13	13—<14	13		34	34—< 35
		20	20—<22	14	14—<15	14		35	35—< 36
		18	18—<20	15	15—<16	15		36	36—< 37
		16	16—<18	16	16—<17	16		37	37—< 38
		14	14—<16	17	17—<18	17		38	38—< 39
		12	12—<14	18	18—<19	18		39	≥ 39
		10	10—<12	19	19—<20	19			
		09	9—<10	20	20—<	20			
		08	8—<9			21			
		07	7—<8			22			
		06	6—<7			23			
		05	5—<6			24			
		04	4—<5			25			
		03	3—<4			26			
		02	2—<3			27			
		01	1—<2			28			
						29			
						30			

Цифра	Средний показатель отражения витринита, %	Характеристика рефлектограммы (см. рис. 5.11)	Матеральный состав, % к объему (без минеральных веществ) 4 — инертинит; 5 — липтинит			
	1; 2	3	4		5	
	40	4—4,09				
	41	4,1—4,19				
	42	4,2—4,29				
	43	4,3—4,39				
	44	4,4—4,49				
	45	4,5—4,59				
	46	4,6—3,69				
	47	4,7—4,79				
	48	4,8—4,89				
	49	4,9—4,99				
	50	≥ 5				

Основные геологические факторы, определяющие качество товарной угольной продукции

Знание и понимание особенностей геологических факторов, обуславливающих то или другое качество товарной продукции является одной из первоочередных задач, возникающих перед горным инженером-технологом на всех этапах освоения и эксплуатации угольных месторождений. Без знания и учета этих факторов возникают трудноразрешимые проблемы с обеспечением стабильности качества товарного угля, отгружаемого с горных предприятий.

В рыночных условиях обеспечение стабильности качества товарной угольной продукции, отгружаемой потребителям с шахт, разрезов и обогатительных фабрик, является одним из ключевых вопросов горного производства.

К основным природным факторам, определяющим качество товарной угольной продукции относятся; метаморфизм, петрографический состав и степень восстановленности органических веществ, слагающих угольные пласты; содержание, состав и характер распределения в угле минеральных компонентов, вредных и токсичных примесей; мощность, строение, условия залегания и степень нарушенности угольных пластов.

Основное влияние на постоянство состава и свойств товарной продукции оказывает изменчивость (в пределах шахтных и

Индекс свободного взвешивания		Выход летучих веществ, % к массе (сухое беззольное состояние)		Зольность % к массе (сухое состояние)		Общее содержание серы, % к массе (сухое состояние)		Высшая теплота сгорания, МДж/кг (сухое беззольное состояние)	
6		7; 8		9; 10		11; 12		13; 14	

карьерных полей) количественных параметров, принятых для характеристики качества углей. Она оценивается по простиранию и падению угольных пластов, от пласта к пласту на многопластовых месторождениях и от пачки к пачке в разрезах отдельных мощных угольных пластов.

Все перечисленные особенности угольных месторождений должны непременно учитываться в процессе проектирования шахт и разрезов. На этой стадии освоения угольных месторождений определяются основные параметры горных предприятий, обеспечивающие получение возможно более стабильной по качеству угольной продукции при минимальных затратах. Проводится выбор оптимальных технологических решений, обеспечивающих управление качеством отгружаемой продукции с наименьшими затратами и максимальную прибыль при ее реализации.

В условиях существующего состояния освоенности месторождений в основных бассейнах об этом надо помнить при реконструкции горных предприятий и исходить из конкретных условий, сложившихся к настоящему моменту.

Стабилизировать качество отгруженного угля с шахт и разрезов возможно также путем грамотного составления календарных планов горных работ, выделения буферных емкостей для корректировки качества угля при возникновении возможных осложнений в очистных забоях по отдельным пластам.

Использование углей в промышленности

Основная часть — более 96 % добычи — твердых горючих ископаемых применяется для получения электрической и тепловой энергии, металлургического кокса и в качестве коммунально-бытового топлива и лишь менее 4 % — для производства полукокса, адсорбентов, углеродистых наполнителей (термоантрацита), сульфоуглей, щелочных реагентов, горного воска и других продуктов. Требования промышленности к составу и свойствам углей, используемых в том или ином направлении существенно различаются.

Наиболее квалифицированным потребителем углей является коксохимическая промышленность. Для получения металлургического кокса определенного химического состава, крупности и механических свойств пригодны угли, обладающие определенными свойствами. В связи с этим сформировалось понятие — *коксующиеся угли*. К ним относятся угли, из которых в условиях промышленного коксования в смесях (шихтах) с другими или без смешивания возможно получать кусковой кокс требуемых крупности и прочности.

По способности к коксообразованию коксующиеся угли подразделяются на пять категорий. В существующих классификациях углей каждой категории соответствуют определенные марки.

Коксовые угли марок К и КЖ дают кондиционный доменный кокс без смешивания с другими углями.

Жирные угли марок Ж и ГЖ без смешивания с другими образуют хорошо сплавленный, но сильно дробящийся кокс, физико-механические характеристики которого ниже принятых для доменного кокса. Доменный кокс из жирных углей может быть легко получен в бинарных смесях с коксовыми или отощенными коксовыми. Кокс, произведенный из отощенных коксовых углей марок КО и ОС без смешивания с жирными, имеет повышенную истираемость и физико-механические характеристики, не соответствующие доменному коксу.

Газовые угли марки Г без смешивания с другими дают кокс достаточно оплавленный, но легко разделяющийся на мелкие «пальцевидные» кусочки, отличающиеся низкой прочностью. Эти угли могут применяться для получения доменного кокса в современных коксовых печах при обычной технологии подготовки шихты только в смесях с хорошо коксующимися углями.

Слабоспекающиеся угли марки СО без смешивания с другими не образуют кускового кокса. Доменный кокс может быть получен из них только в смесях с жирными углями (при этом в смеси должно участвовать не менее 70—85 % последних).

Для производства электрической и тепловой энергии могут использоваться угли всех марок, в т. ч. и окисленные в условиях естественного залегания. При пылевидном сжигании на электрических и тепловых стационарных котельных установках употребляются бурые и многозольные каменные угли, отсе́вы (штыбы) грохочения углей и антрацитов, отходы обогащения (промежуточный продукт и шлам). При этом основными показателями теплотехнических свойств углей является низшая теплота сгорания рабочего топлива, Q_i' , его размолоспособность и реакционная способность, состав и плавкость золы.

Для коммунально-бытовых нужд, сжигания в стационарных слоевых топках, цементных и известковых печах, обжига кирпича применяют неспекающиеся и слабоспекающиеся, в большинстве случаев малозольные угли, с ограниченным содержанием мелочи (< 6 мм). При слоевом сжигании, кроме теплоты сгорания и реакционной способности, важными характеристиками кускового топлива являются механическая прочность и термическая стойкость.

5.4. МОРФОЛОГИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ













Угольным пластом называется геологическое тело, сложенное угольным веществом, распространенное на значительной площади и заключенное между приблизительно параллельными поверхностями напластования горных пород.

Порода, непосредственно подстилающая угольный пласт, является его *почвой* (подошвой), а покрывающая — кровлей. В ряде случаев, вследствие специфичности условий накопления органического вещества или в результате эпигенетических факторов (размыв, тектонические дислокации и др.) кровля и почва угольных пластов оказываются непараллельными. Поэтому, наряду с термином угольный пласт, существует понятие пластообразная или линзообразная залежь угля. Во всех случаях форма пласта угля как геологического тела зависит от соотношения его мощности и протяженности.

Структура пластов

Угольный пласт нельзя представлять как какое-то сплошное монолитное скопление угольного вещества. Характерной

чертой угольных пластов, как и пластов осадочных пород любого состава, является слоистость. Ее появление обусловлено изменением скорости прогибания земной коры на площади угленакопления и сезонными климатическими процессами. Слоистость выражается в разрезе пласта в смене и чередовании различных петрографических типов угля, отличающихся по блеску, текстурно-структурным особенностям, трещиноватости и др. Она подчеркивается скоплением фюзенизированных фрагментов растительных тканей, неодинаковой насыщенностью отдельных слоев линзами и прослоями витрена, приуроченностью к некоторым горизонтам пласта различных конкреционных образований и неодинаковым содержанием в отдельных петрографических типах угля минеральных примесей. Особенно отчетливо заметна слоистость угольных пластов, если в разрезе имеются линзы, прослои и слои минеральных или угольно-минеральных пород. Слои угля в таких пластах принято именовать пачками. Пласты, состоящие из нескольких пачек угля, разделенных внутрипластовыми породными прослоями, широко распространены во всех угольных бассейнах.

Мощность прослоя пород, м	Колонка	Мощность угольных пачек, м	$W^a, \%$	$A^a, \%$	$V^{daf}, \%$	$S_c^d, \%$	$y, \text{мм}$	$Vt, \%$	$Sr, \%$	$I, \%$	$L, \%$
		0,08	1,3	40,6	—	1,69	—	65,3	3,4	28,7	2,6
		0,25	1,6	8,1	33,5	0,40	12	67,0	4,7	27,0	1,3
0,01		0,05	1,7	6,7	33,5	0,43	12	67,9	7,8	22,3	2,0
		—	—	84,3	—	0,04	—	58,7	4,0	30,6	6,7
		0,22	1,7	7,3	32,5	0,43	14	66,9	7,5	24,7	0,9
		0,03	1,7	5,8	33,7	0,43	15	89,8	2,8	6,7	0,7
		0,15	1,6	9,2	31,4	0,36	9	55,6	7,6	34,3	2,5
0,02		0,18	1,6	8,4	32,3	0,46	12	70,7	4,7	23,2	1,4
		—	1,1	56,7	—	0,42	—	38,1	—	60,9	1,0
		0,18	1,6	4,3	35,0	0,44	16	78,1	2,6	19,3	—
		0,05	1,6	6,8	30,5	0,38	—	54,9	4,7	36,5	3,9
		0,20	1,6	4,8	33,7	0,42	13	71,6	5,8	20,1	2,5



1



2



3



4

Рис. 5.11. Детальная характеристика состава и свойств угольных пачек одного из пластов Ворогшорского месторождения Печорского бассейна (по Ю.В. Степанову):

1—3 — литотипы угля: 1 — блестящий, 2 — полублестящий, 3 — полуматовый; 4 — углестый аргиллит

Угольным слоем называется тонкий угольный пласт или часть угольного пласта (пачки), отличающаяся по петрографическому составу, трещиноватости, крепости или содержанию минеральных примесей.

Для характеристики строения угольных пластов вычерчиваются (в масштабе 1:20 или 1:50) структурные колонки, на которых прослои и пачки различного состава показываются соответствующими условными знаками. При этом отображение строения, состава и свойств отдельных пачек и прослоев на структурных колонках угольных пластов может быть более или менее детальным.

При детальном петрографическом исследовании, когда в каждом слое угольного пласта определяется не только макротип, но и микрокомпонентный состав, на структурных колонках приводятся все наиболее важные сведения об угле (рис. 5.11).

Разделение угольных пластов по структурным признакам, мощности и условиям залегания

По структурным признакам, т.е. в зависимости от количества внутрипластовых породных прослоев, выделяются пласты простого, сложного (при наличии породных прослоев — от одного до десяти, и очень сложного строения; в последнем случае угольные пласты (залежи) представлены частым переслаиванием большого количества угольных и породных прослоев. Например, на Волчанском, Богословском и Экибастузском месторождениях в мощных угольных пластах насчитываются десятки, а иногда и сотни породных прослоев.

В Донецком бассейне более половины всех пластов (54 %) характеризуются простым строением. Однако соотношение пластов простого и сложного строения в отдельных районах бассейна не остается постоянным. В Донецком экономическом районе пласты простого строения составляют более 60 %, Ворошиловградском и Ростовском — около 50, а в Днепропетровском — 90 %.

В Кузнецком бассейне преобладают пласты сложного строения, особенно часто встречающиеся в отложениях кольчугинской серии.

В этих отложениях простое строение имеют не более 18 % пластов, в основном тонких. В балахонской серии Кузнецкого бассейна количество пластов с простым строением достигает 37 %. При этом простое строение нередко наблюдается в пластах средней мощности и даже в мощных.

В угленосных отложениях Карагандинского бассейна преобладающая часть угольных пластов обладает сложным строением. Исключения составляют отдельные пласты долинской и тентекской свит.

Пласты простого строения возникают в результате непрерывного накопления растительного материала. Обычно это происходит при устойчивом геотектоническом режиме, обеспечивающем совпадение скоростей нарастания торфяника и опускания области торфонакопления.

Сложные пласты являются образованиями переменного сложения. Их строение связано с изменением характера или с остановками в процессе накопления отмершей растительной массы. Это возможно только при неустойчивом геотектоническом режиме, когда скорость накопления торфяника неоднократно становится меньше или больше скорости опускания области торфонакопления. В результате торфообразование временно прекращается на всей площади или на отдельных ее частях.

Строение угольного пласта является одним из основных факторов, определяющих технологию их разработки и способы подготовки угля к использованию в промышленности.

Пласты сложного и очень сложного строения нередко разделяются породными прослоями на части, которые могут служить самостоятельными объектами эксплуатации. В сложном угольном пласте из многочисленных угольных пачек промышленную ценность может представлять только одна, залегающая непосредственно под кровлей или над почвой пласта и др.

При разработке мощных пластов угля выделяются *эксплуатационные слои* — части пласта определенной мощности, вынимаемые раздельно. Эксплуатационный слой может быть частью одной угольной пачки или включать несколько пачек.

По мощности в практике разведки и эксплуатации принято разделять угольные пласты на пять групп: 1) весьма тонкие — до 0,5 м; 2) тонкие — от 0,5 до 1,3 м; 3) средней мощности — от 1,35 до 3,5 м; 4) мощные — от 3,55 до 15 м; 5) весьма мощные — более 15 м.

По мощности и зольности среди угольных пластов различают рабочие и нерабочие.

Рабочим угольным пластом следует называть такой комплекс угольных пачек (или одну пачку) и прослоев пород, который имеет средневзвешенную зольность не выше, а суммарную мощность угольных пачек не ниже установленных кондициями

для балансовых запасов по данному месторождению. *Нерабочим пластом* считается такой, который не удовлетворяет требованиям кондиций по мощности и зольности.

По свойству пласта угля сохранять рабочую мощность и строение в пределах шахтного поля оценивается степень его выдержанности. Выдержанность мощности и строения угольных пластов относится к основным факторам, определяющим промышленную ценность месторождения и условия его разработки.

По степени выдержанности выделяют три группы угольных пластов:

1) выдержанные, когда мощность, строение пласта и качество углей в пределах шахтного поля, а нередко и нескольких шахтных полей имеют незначительные отклонения от средних, характерных для этой площади величин; участки с нерабочим значением пласта отсутствуют;

2) относительно выдержанные, когда в пределах шахтного поля мощность и строение пласта и основные показатели качества углей существенно варьируют, но на большей части шахтного поля пласт не утрачивает промышленного значения; при наличии нерабочих участков пласта установлена отчетливая закономерность изменения показателей, обуславливающих переход рабочего пласта в нерабочий;

3) невыдержанные, когда вследствие резкой изменчивости мощности, строения пластов или показателей качества углей они на многих локальных участках в пределах шахтного поля утрачивают рабочее значение.

Протяженность пласта угля в пространстве, его выдержанность зависит от фациальных и геотектонических условий, при которых он образуется. Наиболее благоприятными являются прибрежно-морские (лагунные) условия седиментации, менее благоприятными — прибрежно-континентальные (дельтовые и устьевые части рек). Многие пласты в свитах C_2^5 , C_2^6 , C_2^7 Донбасса, формировавшиеся в прибрежно-морских условиях, практически непрерывно прослеживаются на огромной площади. Например, площадь распространения пласта l_3 оценивается не менее чем в 20 тыс. км², пласт k_8 непрерывно прослеживается на сотни километров, и др. В ряде случаев для возникновения выдержанных пластов довольно благоприятными были внутриконтинентальные озерно-болотные условия угленакопления.

В зависимости от угла падения различают пологие (углы падения до 18°), наклонные (19—35°), крутонаклонные (36—55°) и крутые (56—90°) угольные пласты.

Углы падения пластов на площади угольных бассейнов, месторождений и даже отдельных шахтных полей не остаются постоянными. Они изменяются от крыльев к замкам складок, с глубиной залегания в пределах одного и того же крыла складки, вблизи дизъюнктивных нарушений, в местах замыкания антиклинальных и синклинальных структур.

Почва (подошва), кровля и породные прослои в пластах угля

Прослои в пластах угля в большинстве случаев представлены глинистыми или мелкоалевролитовыми отложениями. Разнообразнее литологический состав кровли угольных пластов, где иногда залегают конгломераты, гравелиты или грубозернистые песчаники. В Донецком бассейне в кровле пластов в отдельных случаях встречаются известняки. Обломочные породы кровли обычно имеют отчетливо выраженную слоистость. В них нередко наблюдаются растительные остатки, а иногда разнообразная, в т. ч. и типично морская, фауна. Для пород кровли характерно также присутствие сидеритовых, пиритных и других конкреций.

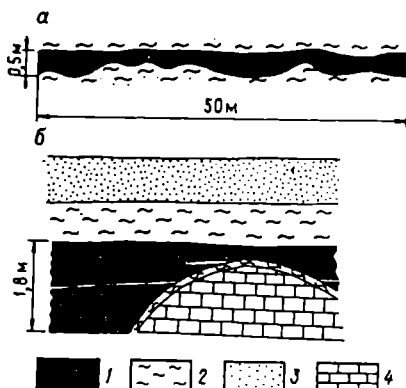
В отличие от кровли, почва угольных пластов, как правило, является неслоистой, комковатой. Комковатое строение пород почвы обусловлено присутствием остатков корневой системы растений, пронизывающих почву в различных направлениях, сохранность которых неодинакова. Нередко по остаткам корней развивается процесс сидеритизации, в результате чего возникают конкреции довольно причудливой формы. Из-за комковатого строения породы почвы получили у шахтеров название «кучерявички».

Внутрипластовые породные прослои могут иметь различную мощность. Состав их преимущественно глинистый, реже алевролитовый; часто отмечается большее или меньшее количество примесей угольного вещества (углистые аргиллиты и алевролиты). В ряде случаев в пластах угля встречаются прослои каолинита («тонштейны»). Эти прослои при незначительной мощности (5—8 см в пластах k_8 , l_1 , l_3 и m_3 Донбасса) прослеживаются на десятки километров.

Контакты угольных пластов с почвой, кровлей и породными внутрипластовыми прослоями могут быть резкими или постепенными. Так, В.Н. Волков выделяет четыре типа контактов угольного пласта с почвой:

1) резкий с породами, не несущими признаков ископаемого почвенного слоя;

Рис. 5.12. Изменение мощности пластов вследствие неровности дна торфяника в Донецком (а) и Подмосковном (б) бассейнах:
1 — уголь; 2 — глина (аргиллит);
3 — песок; 4 — известняк



2) сложный резко выраженный, при котором угольный пласт отделен от почвы тонким прослоем глинистых или углисто-глинистых осадков с четкими границами поверхностей раздела;

3) резкий четкий непосредственный без каких-либо переходов, с ровной поверхностью раздела;

4) постепенный через промежуточную пачку углистых пород и углей с высоким содержанием минеральных примесей.

Наибольшим распространением пользуются контакты третьего и четвертого типов.

Нарушения угольных пластов

Под *нарушением угольного пласта* понимают изменения его мощности, строения или залегания, оказывающие существенное влияние на ведение горных работ.

Нарушения угольных пластов по времени образования подразделяются на син- и эпигенетические. Первые возникают непосредственно в период накопления растительных остатков, формирующих угольные пласты, на торфяной стадии процесса углеобразования, нередко до покрытия торфяника минеральными осадками. Эпигенетические нарушения образуются не только после покрытия торфяника толщей осадочных пород, но нередко и после завершения становления всей угленосной толщи на различных этапах тектонической истории угольного бассейна.

К сингенетическим нарушениям относятся неровности почвы угольных пластов. Изменение мощности этих пластов обусловлено неровностями поверхности, на которой происходило торфонакопление. Так, на возвышенных участках древнего рельефа торф не возникал до тех пор, пока не наступало выравнивание поверхности в результате заполнения торфяной массой более низких участков. Естественно, над возвышенными

участками древнего рельефа мощность угольных пластов всегда существенно меньше, чем на соседних, а нижние пачки угля отсутствуют (рис.5.12).

К этому же типу нарушений принадлежат расщепления (рис. 5.13), выклинивания и фациальные замещения угольных пластов. Расщепление пластов связано с неравномерностью опускания или поднятия отдельных участков общей площади угленакпления или с несовпадением скоростей нарастания торфяника и опускания площади торфонакпления. В подобных случаях в торфянике формируются минеральные прослои, возрастание мощности которых обуславливает расщепление, а нередко и выкливание угольных пластов.

Значительный привнос минеральных веществ в отдельные участки торфяных болот является основной причиной фациальных замещений угольных пластов углистыми породами. Изменение мощности отдельных угольных пачек и породных прослоев и расщепление пластов наблюдаются практически во всех угольных бассейнах.

Во время образования торфяников довольно часто происходила их речная эрозия. Временные или постоянные водотоки, пересекавшие торфяную залежь, проявляются в угольных пластах в виде замещающих уголь лент аллювиальных отложений, имеющих сложную конфигурацию. Сингенетичные угольному пласту размывы, как правило, не выходят за пределы почвы и кровли пласта.

Некоторые фациальные замещения угольных пластов возникают вследствие аллохтонного угленакпления. При этом отмечаются загрязнение массы минеральными примеся-

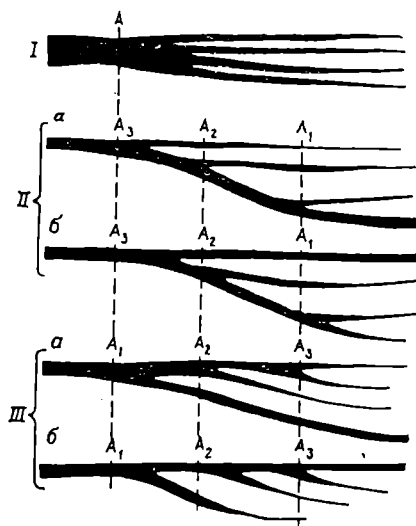


Рис. 5.13. Типы расщепления пластов угля (по Г.А. Иванову):

I — расходящийся пучок (тип «конского хвоста»). II — трансгрессивное: а — выше, б — ниже основного пласта; III — регрессивное: а — выше, б — ниже основного пласта (А₁—А₃ — пункты расщепления пластов; А — участок устойчивого угленакпления)

ми, значительные колебания мощности угольных пластов и их расщепление на коротких расстояниях. В результате угольные пласты утрачивают промышленное значение в связи с резким увеличением зольности, усложнением строения и невыдержанностью мощности.

Значительные затруднения при отработке угольных пластов вызывают торфо-доломитовые конкреции — угольные почки, характеризующиеся высокой механической прочностью. При общей линзовидной форме они бывают более или менее уплощенными, но большей частью неправильно шарообразными. Размеры почек по толщине колеблются от 0,05 до 0,25 м, реже составляют 0,5 м и более. Диаметр их также резко изменяется — от 0,2 до 2 м и более.

Угольные почки залегают в различных частях пласта, но в каждом пласте они приурочены к какой-либо одной пачке или слою угля. Границы почек с окружающим углем всегда резкие. Уголь очень плотно облекает почки. Большинство их имеет близкий химический состав и представляет собой известковые конкреции с незначительным количеством доломита, сидерита и терригенного материала. В отдельных случаях встречаются конкреции, в составе которых кроме пирита, являющегося главным минералом, принимают участие песчано-глинистый материал и органическое вещество.

В некоторых случаях хемогенные минерализованные слои (конкреции) типа угольных почек и стволы окаменевших деревьев встречаются в кровле пластов (пласты 19, 23 и 266 в Байдаевском районе Кузбасса). Мощность подобных слоев варьирует от 5 до 35 см. Диаметр окаменевших деревьев достигает 60 см. Эти образования приурочены к контактам разных по составу пород, чаще к слоям мелкого алевролита или аргиллита. Иногда они создают ложную или непосредственную кровлю и почву угольных пластов. Угольные почки и минерализованные стволы деревьев имеют непрочную связь с породами в которых они залегают, вследствие чего при обнажении отслаиваются и дают вывалы.

Нарушения угольных пластов после их формирования обусловлены эпигенетическими размывами, инъекциями в уголь кластического материала, обладающего плавучими свойствами, тектоническими воздействиями, карстовыми явлениями и внедрением изверженных пород.

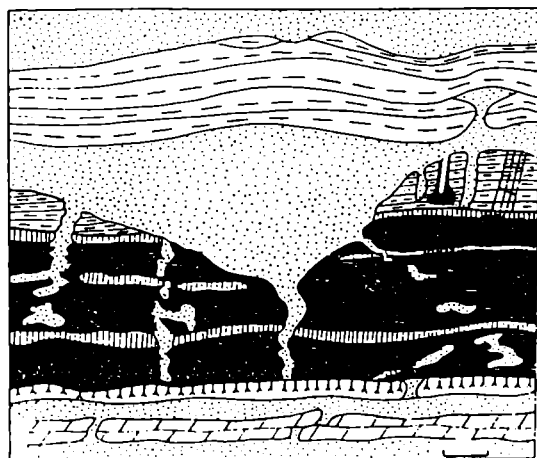
Эпигенетические размывы подразделяются на овражно-речные и морские (табл. 5.29). Первые довольно широко распрост-

ранены в большинстве угольных бассейнов, вторые отмечаются значительно реже. Те и другие размывы обычно имеют локальный характер развития. Правда в некоторых случаях они захватывают большие площади, полностью или частично уничтожая угольные пласты вместе с перекрывающими породами. Такие размывы существенно усложняют не только отработку угля, но и управление кровлей вследствие резкой изменчивости ее литологического состава.

Таблица 5.29

**Классификация размывов угольных пластов
(по Д.В. Васильеву с изменениями)**

Размывы	Группа	Тип	Часть угленосной толщи, подвергавшаяся размыву
Овражно-речные	Сингенетические	I	Угольный пласт
	Эпигенетические	II	Угольный пласт и кровля
		III	Угольный пласт и все покрывшие его отложения углесодержащей свиты
Морские	Сингенетические	IV	Поверхностная часть угольного пласта (впадины и удлинённые котлованы)
		V	Угольный пласт на отдельных участках (площадной смыв)



Инъекции в угольные пласты кlastического материала про-

Рис. 5.14. Сводная схема взаимоотношения кlastических жил и даек с вмещающими породами и угольными пластами Интинского месторождения Печорского бассейна (по А.Г. Дмитриеву):

1 — уголь; 2 — углистый аргиллит; 3 — стигматриевая почва; 4 — слоистые аргиллиты и алевролиты; 5 — песчаники; 6 — мергелистые породы; 7 — останки стволов и хвощей

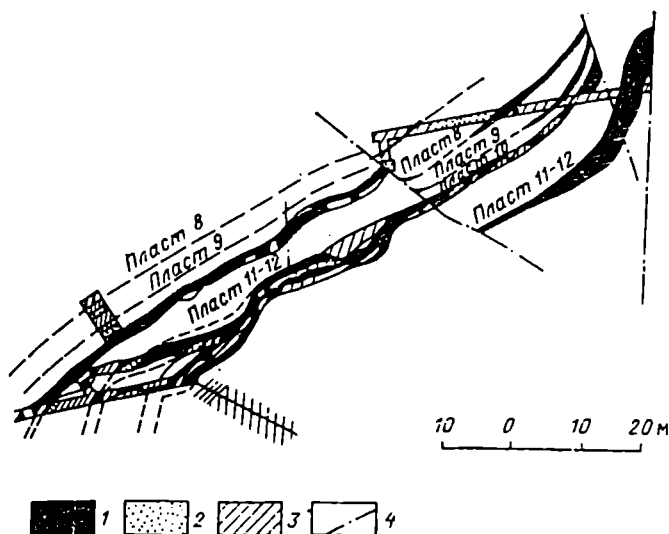


Рис. 5.15. Схематический геологический разрез участка Егоршинского антрацитового месторождения (по М.И. Сидоровичу):

1 — уголь; 2 — песчаник; 3 — глинистые сланцы; 4 — разрывные нарушения

исходят по трещинам из перекрывающих или подстилающих пласты слоев пльвуна. В процессе катагенеза угленосной толщи кластический материал литифицируется и превращается в алевролит или мелкозернистый песчаник с высокой механической прочностью. В результате в угольной массе пласта встречаются инородные тела, так называемые кластические дайки, различной мощности — от долей метра до нескольких метров (рис. 5.14) и протяженности в десятки метров, существенно осложняющие отработку угольных пластов.

Тектонические воздействия на угольные пласты приводят к возникновению в угле экзогенных трещин, при значительном развитии которых уголь становится псевдопластичным, в угольных пластах образуются раздувы и пережимы (рис. 5.15), отмечаются расштыбование угля, нарушение устойчивости вмещающих пород кровли и почвы и засорение угля минеральными примесями. В отдельных случаях тектонические воздействия на пласты угля вызывают полную утрату ими промышленной ценности.

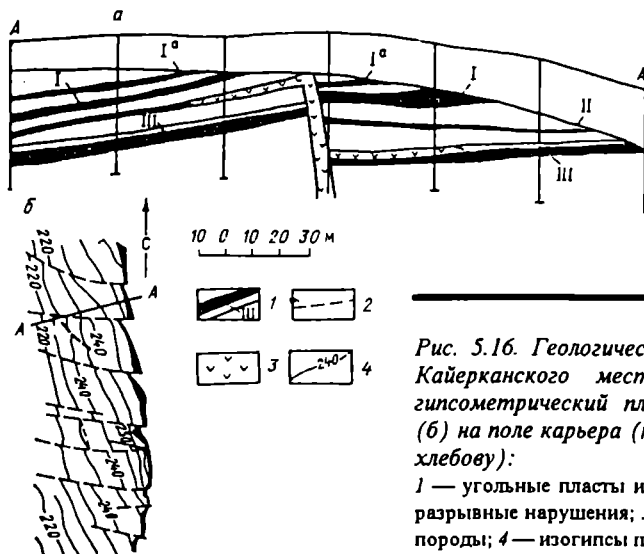


Рис. 5.16. Геологический разрез (а) Кайерканского месторождения и гипсометрический план пласта III (б) на поле карьера (по В.Ф. Твердохлебову):

1 — угольные пласты и их номера; 2 — разрывные нарушения; 3 — изверженные породы; 4 — изогипсы пласта III

Внедрение изверженных пород в угленосную толщу в виде пластовых интрузий и даек обуславливает локальные изменения химико-технологических и физико-механических свойств углей. При этом пластовые интрузии нередко срезают часть пласта или весь пласт, ассимилируют угольную массу (рис. 5.16).

Проявление карста в подстилающих уголь породах приводит к провалам угольного пласта, изменению мощности и разрушению угля на локальных ограниченных участках.

В ряде бассейнов (Кузнецкий, Канско-Ачинский, месторождения Забайкалья и др.) широко распространено выгорание пластов. Глубина выгорания существенно меняется в зависимости от геологических, геоморфологических и гидрогеологических условий. На Барандатском месторождении Канско-Ачинского бассейна пласт

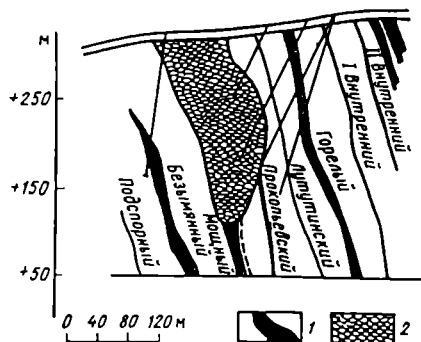


Рис. 5.17. Выгорание угольных пластов в Кузнецком бассейне (по Э.М. Паху и Э.М. Сендерзону):

1 — уголь; 2 — обожженные породы («горелкини»)

Мощный выгорел в глубину на 20—30 м и по простираению на 20 км. Ширина зоны выгорания 1,5—2 км. Зоны выгорания пластов Мощного, Прокопьевского и Спутника на шахте «Тайбинская» (Кузбасс) распространяются на глубину до 200 м (рис. 5.16). «Горельники» на выходах пластов осложняют их отработку открытым способом. При подземной разработке следует учитывать, что они нередко являются источником прорывов в нижележащие горные выработки значительных масс содержащихся в них вод.

5.5. УГЛЕНОСНАЯ ТОЛЩА

Угленосная толща представляет собой комплекс осадочных пород, обязательной составной частью которых являются пласты угля. Породы, слагающие угленосные толщи, в основном обломочные, различного гранулометрического состава — конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты и аргиллиты. Иногда присутствуют хемогенно-органогенные породы морского происхождения.

При кажущемся внешнем сходстве одноименные породы угленосной толщи существенно отличаются по вещественному и гранулометрическому составу, степени окатанности зерен, сортированности материала, текстурным особенностям и характеру органических и неорганических включений. Все это свидетельствует о большом разнообразии фациальных условий осадконакопления. В то же время между породами угленосной толщи отмечается тесная парагенетическая связь. В угленосных толщах в различных сочетаниях принимают участие следующие группы фаций: морские (преимущественно прибрежные), лагунные, озерные, фации побережья, болотные, речные, конусов выноса (пролювиальные) и вулканогенные.

Палеогеографическая обстановка образования угленосной толщи определяет в каждом конкретном случае комплекс фаций и основные петрографические признаки слагающих их пород. Цвет пород преимущественно серый, иногда темно-серый. Наряду с горизонтальной встречается волнистая или косая слоистость, которая подчеркивается либо прослойками различного гранулометрического состава и цвета, либо скоплениями обугленного растительного детрита. Для обеспечения единообразия в наименовании обломочных пород, вскрываемых и описываемых в шахтах и разрезах, рекомендуется придерживаться классификации, приведенной в табл. 5.30.

Классификация обломочных пород

Размер обломков, мм	Рыхлые		Сцементированные	
	окатанные	неокатанные	окатанные	неокатанные
Более 200	Валуны	Глыбы	Конгломерат: валунный крупногалечный	Брекчия: глыбовая крупнообломочная
200—50	Галечник: крупный	Щебенка: крупная	мелкогалечный	мелкообломочная
50—10	мелкий	мелкая		
10—2	гравий	дресва	гравийный (гравелит) Песчаник: крупнозернистый	дресвяник
2—0,5	Песок: крупнозернистый		мелкозернистый	
0,5—0,25	мелкозернистый		тонкозернистый	
0,1—0,05	тонкозернистый			
0,05—0,01	Алеврит (песчаная глина)		Алевролит (окаменелая песчаная глина), песчано-глинистый сланец Аргиллит (окаменелая глина), глинистый сланец	
Менее 0,01	Глина			

Для угленосных толщ характерно многократное повторение в разрезе сходных пород и чередующихся в закономерной последовательности слоев различного гранулометрического состава. Такое циклическое (ритмичное) строение разреза обусловлено характером колебательных движений земной коры в области развития угленосных бассейнов в период накопления отложений. Подобная закономерная повторяемость (ритмичность) в осадконакоплении называется циклической седиментацией.

Ритм — это закономерное чередование и повторяемость пород в разрезе угленосной толщи. Ритмы бывают полными и неполными. Увеличение крупности частиц в осадочных породах от основания ритма до определенного максимума с последующим уменьшением до минимума свидетельствует о полном завершении ритма. Такое явление типично для морских, прибрежно-морских и прибрежно-озерных фациальных обстановок. Неполные ритмы свойственны аллювиальной или дельтовой обстановке осадконакопления; они накладываются, обычно

с размывом, на подстилающие породы и, как правило, соответствуют верхней части полного ритма.

Мощность гранулометрических ритмов колеблется в значительных пределах от десятков сантиметров и нескольких метров (элементарные ритмы) до десятков метров (основные ритмы). Отмечается прямая корреляция между мощностью гранулометрических ритмов и мощностью пластов угля, залегающих в их основании.

В связи с особенностями состава и чередования пород в угленосных толщах возникло понятие об угленосной формации. По определению Г.А. Иванова (1959 г.), «угленосная формация — это полифациальная, ритмически построенная, полнокомпенсируемая толща парагенетически связанных между собой комплексов угленосных пород, образующихся и изменяющихся при определенном взаимодействии геотектонических и фациальных (палеогеографических) факторов».

Разрезы угленосных толщ многих угольных бассейнов свидетельствуют о том, что их территория неоднократно погружалась под уровень моря при трансгрессии и вновь становилась сушею при регрессии. В результате морские осадки перекрывались континентальными (и наоборот), сменяли друг друга циклы осадконакопления. Такие явления в некоторых бассейнах повторялись десятки раз.

Колебательные движения земной коры в зависимости от приуроченности угленосных бассейнов к различным структурным зонам — геосинклинальным, платформенным или переходным — проявлялись неодинаково. В связи с этим среди угленосных отложений выделяются соответствующие генетические типы: геосинклинальный, платформенный и переходный от геосинклинального к платформенному.

5.6. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Классификация угленосных формаций, бассейнов и месторождений

Угольное месторождение — это часть земной коры, сложенная угленосными отложениями, содержащими пласты угля, пригодные для экономически эффективной разработки. Месторождение может либо быть частью бассейна (например, Байдаевское, или Прокопьевско-Киселевское месторождение Кузбас-

са), либо представлять собой обособленно залегающую угленосную толщу, небольшую по площади распространения и запасам угля (например, месторождения углей Средней Азии и Забайкалья).

Угольным бассейном называются обширные площади часто непрерывного развития угленосных отложений (как правило, с запасами угля, исчисляемыми миллиардами тонн), образовавшихся в результате единого геологического процесса.

Среди угольных бассейнов различают открытые, полузакрытые и закрытые. В *открытых* вся площадь, занятая угленосными отложениями, выходит на дневную поверхность, залегающая под маломощным чехлом четвертичных отложений. При этом видимые границы и площадь бассейна будут его действительными границами и площадью. Если на дневной поверхности обнажается только часть угленосных отложений, а другая перекрыта более молодыми (дочетвертичными) отложениями, маскирующими действительные границы и площадь развития угленосных отложений, то такие бассейны называются *полузакрытыми* (например, Донецкий). В *закрытых* бассейнах угленосные отложения сплошь перекрыты более молодыми отложениями, а их действительные границы могут быть установлены только горными и буровыми разведочными работами.

В геологической литературе, кроме понятия угольный бассейн, иногда применяется термин *угленосная площадь*. К угленосной площади обычно относят менее изученные, нередко разобщенные в пространстве угленосные массивы, объединенные по геологическому строению или другим признакам. В пределах бассейнов, и угленосных площадей выделяются геолого-промышленные районы.

В зависимости от места развития древних торфяников — в прибрежно-морских или озерных условиях — различают *паралические* (от греч. паралос — близкие к морю) и *лимнические* (от греч. лимнос — озеро) угольные бассейны. Например, к бассейнам паралического типа относятся Донецкий, Рурский (Германия), Иллинойс (США), к лимническим — Челябинский, Нижнесилезский (Польша) и Саарский (Германия, Франция).

В начале 30-х годов XX в. Г.Л. Иванов на основании главным образом геотектонических признаков подразделил угленосные формации на три типа: *геосинклинальный*, *промежуточный* (переходный) и *платформенный*.

Разработкой различных схем классификации угленосных отложений угольных бассейнов и месторождений в разное вре-

мя занимались выдающиеся геологи-угольщики: П.В. Васильев, Ю.А. Жемчужников, М.К. Коровин, Г.Ф. Крашенинников и др. В тектонической классификации Г.Ф. Крашенинникова (1957 г.) угленосные формации разделены только на геосинклинальные и платформенные. При этом среди геосинклинальных формаций выделены три зоны угленакопления, существенно отличающиеся по угленосности, складчатости и качеству углей — внутренние, самые подвижные; краевые и стабилизированные; краевые и внутренние, а среди угленосных формаций платформенного типа — две зоны угленакопления — молодые и подвижные; древние и устойчивые.

В связи с развитием учения о геосинклинальных и платформенных зонах земной коры классификация угленосных бассейнов уточнялась и детализовалась. В 1959 г. Г.А. Иванов предложил более детализированную генетическую классификацию угленосных формаций и бассейнов по геотектоническим режимам и палеогеографическим обстановкам (табл. 5.31).

Выделенные Г.А. Ивановым типы бассейнов отличаются по мощности угленосных толщ, числу угольных пластов, метаморфизму углей, степени измененности вмещающих пород, развитию пликативных и дизъюнктивных форм нарушений угольных пластов и ряду других признаков. Особенности образования угленосных формаций в различных типах прогибов показаны на рис. 5.18.

В бассейнах геосинклинального типа мощность угленосных отложений составляет 2—10 км и более, а в бассейнах платформенного типа — десятки, реже сотни метров. В угленосных толщах бассейнов геосинклинального типа залегают сотни угольных пластов, преимущественно тонких, но достаточно выдержанных по площади (рис. 5.19) и более или менее равномерно распределенных по всему разрезу. В платформенных бассейнах число угольных пластов невелико — единицы, редко десятки. Отдельные из них характеризуются большой мощностью, но недостаточной выдержанностью (рис. 5.20). Пласты обычно приурочены к нижним частям угленосной толщи.

Большие различия между геосинклинальными и платформенными бассейнами наблюдаются в метаморфизме углей и степени вторичной изменчивости вмещающих пород. В геосинклинальных бассейнах обычно залегают угли всего метаморфического ряда — от I до X стадии метаморфизма, а по марочному составу — от длиннопламенных до антрацитов (см. рис. 5.19).

Схема генетической классификации угленосных формаций (по Г.А. Иванову)

Подразделения	Угленосные формации				
	Геосинклинальная	Геоинклиная	Промежуточная	Платформенная	Молодой платформенной
Типы (по геотектоническому режиму)	Эвгеосинклинальная	Передовых и аналогичных им прогибов	Многосинклинальная	Древней платформенной	Молодой платформенной
	Прогибов центральных, наиболее подвижных зон геосинклиналей	Внутренних и передовых (краевых) прогибов	Внешних прогибов	Внутренних и внешних устойчивых или подвижных (активизированных) прогибов (по форме)	Разнообразных приразломных, унаследованных прогибов, в солянокупольных структурах и др.
Подтипы (по общему ландшафту)	Межгорные	Межгорные и предгорные	Предгорные	Межгорные	Межгорные
	Прибрежно-морские	От прибрежно-морских и прибрежно-бассейновых (в основном лагунных) до прибрежно-континентальных (устьевых частей и дельт рек)	Прибрежно-морские; прибрежно-континентальные	От прибрежно-бассейновых (в основном лагунных) до внутриконтинентальных	Внутриконтинентальные
Типичные примеры	Месторождения восточного склона Урала, Род-Айленд	Кузнецкий, Карагадинский, Донежский, Печорский, Рурский, Алпалачский бассейны и др.	Кизеловский бассейн	Подмосковный, Тунгусский, Канско-Ачинский, Днепровский бассейны	Кузнецкий, Челябинский, Южно-Уральский бассейны и др.

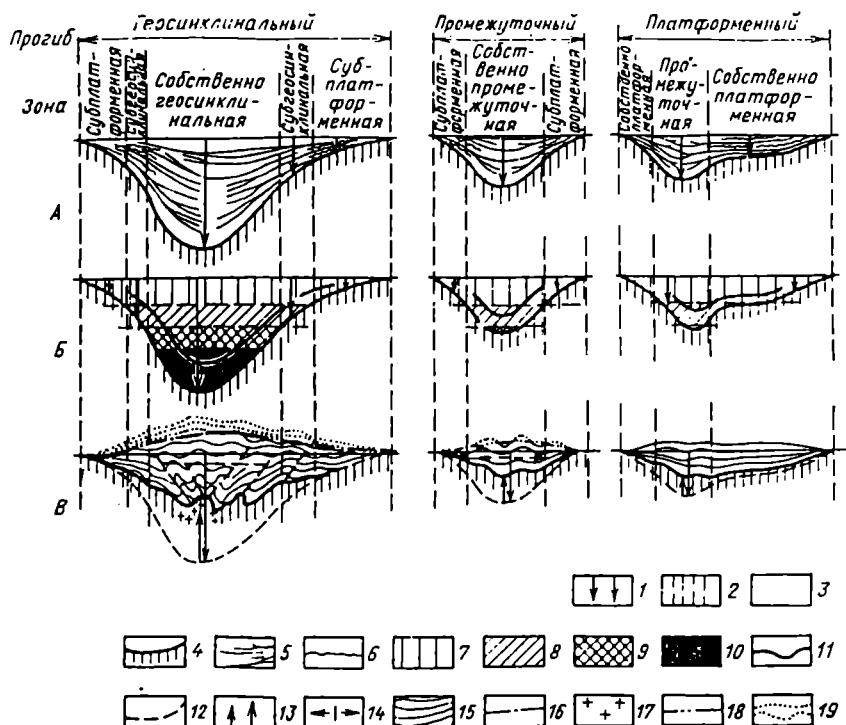


Рис. 5.18. Схема образования и изменения угленосных формаций в основных типах волновых прогибов (по Г.А. Иванову):

А — основные типы волновых прогибов, их зоны и образующиеся в них угленосные формации; Б — зональность регионального метаморфизма угля в различных типах угленосных формаций (вертикальные зоны метаморфизма углей и соответствующие им зоны эпигенеза пород); В — зональность тектоники и разрушения (размыв) угленосных формаций:

1 — амплитуда прогибания; 2 — границы между зонами; 3 — угленосные формации; 4 — подстилающие их образования; 5 — пласты угля; 6 — внутриформационные размывы (стратиграфические перерывы); 7—10 — угли: 7 — бурые и переходные к длиннопламенным, 8 — длиннопламенные и газовые, 9 — жирные, коксовые и отощенно-спекающиеся, 10 — тощие и антрациты; 11 — один из пластов угля в каждом типе прогибов, по которому видна горизонтальная зональность метаморфизма; 12 — контуры максимальной глубины прогибания; 13 — амплитуды поднятия; 14 — тангенциальные напряжения; 15 — складки; 16 — разрывы; 17 — магматические очаги; 18 — поверхность эрозионного среза формации; 19 — ее размытые части

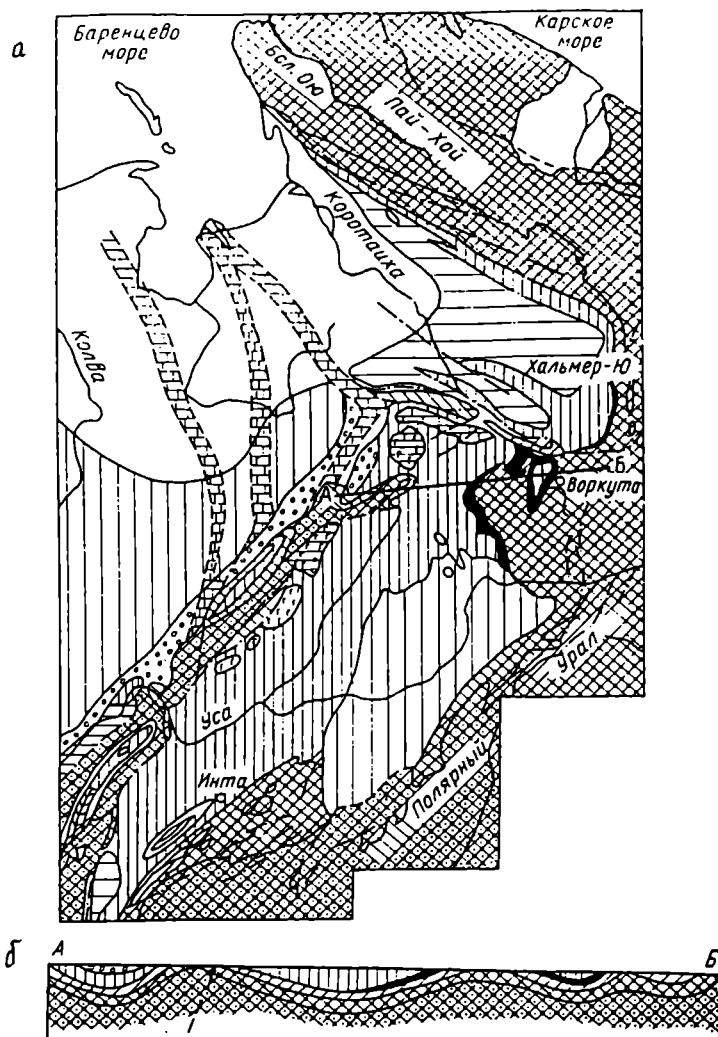
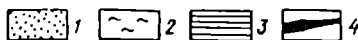
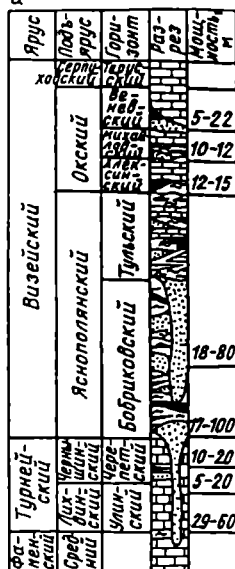


Рис. 5.19. Геологическая карта (а) и разрез (б) Печорского бассейна:
 1 — мел; 2 — юра; 3 — триас; 4 — верхняя пермь (печорская серия); 5 — нижняя пермь (хатангская серия); 6 — допермские отложения; 7 — базальты; 8 — тектонические нарушения; 9 — участки невыясненного геологического строения; 10 — выходы карбонатных пород по геофизическим данным; 11 — угольный пласт

а



б



Рис. 5.20. Строение Подмосковского угольного бассейна:

а — сводный стратиграфический разрез Подмосковной угленосной формации: 1 — пески; 2 — глины; 3 — известняки; 4 — угли; б — геологический разрез южного крыла бассейна: 1 — подугленосные отложения девона — карбона; 2—3 — угленосная формация нижнего карбона: 2 — бобриковский горизонт, 3 — тульский горизонт; 4 — средние и верхнекарбонные породы; 5 — юрские отложения; 6 — меловые породы; 7 — четвертичные образования

При этом отражательная способность витринита углей варьирует от 0,4 до 6 %. Характерна отчетливая зональность в распределении углей отдельных стадий метаморфизма в разрезе и по площади распространения угленосных отложений (рис. 5.21). Вмещающие породы — сильно уплотненные и сцементированные, нередко метаморфизованные. Степень изменчивости их соответствует стадии метаморфизма заключенных в них углей. Например, в угленосной толще Донбасса временное сопротивление раздавливанию песчаников изменяется от 5—10 МПа в районах развития углей марки Д до 150—200 МПа в районах распространения антрацитов.

Для бассейнов платформенного типа обычно характерны угли слабо измененные, низкой степени углефикации, в основ-

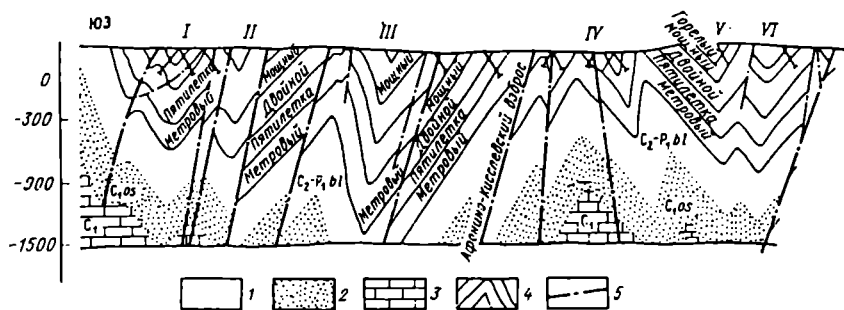
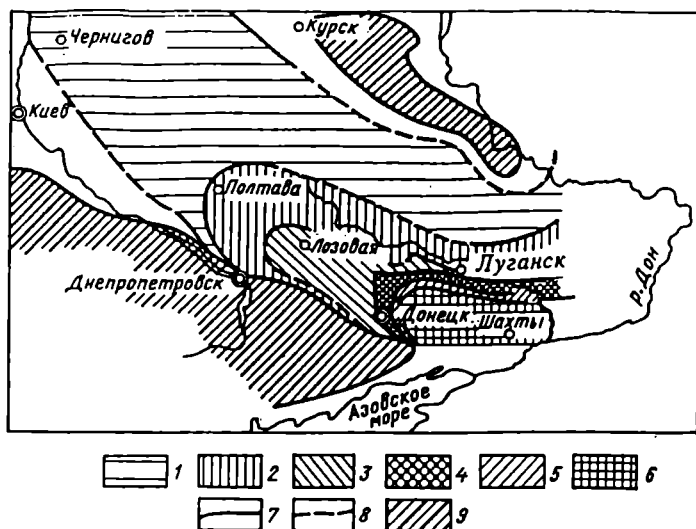


Рис. 5.21. Схемы зонального распределения углей в Донецком прогибе (по А.З. Широкову):

1—6 — зоны распространения углей: 1 — бурых, 2 — длиннопламенных, 3 — газовых, 4 — спекающихся, 5 — тощих, 6 — антрацитов; 7—8 — границы между зонами: 7 — установленные, 8 — предполагаемые; 9 — Воронежский и Украинский кристаллические массивы

Рис. 5.22. Структурный геологический разрез Прокопьевского-Киселевского района Кузбасса (по Э.М. Паху и И.В. Поповой):

1 — угленосная балахонская свита (C_2-P_1bl); 2 — острогская свита (C_{1os}); 3 — морской нижний карбон (C_1); 4 — пласты угля; 5 — тектонические разрывы; I—VI — номера синклиналий

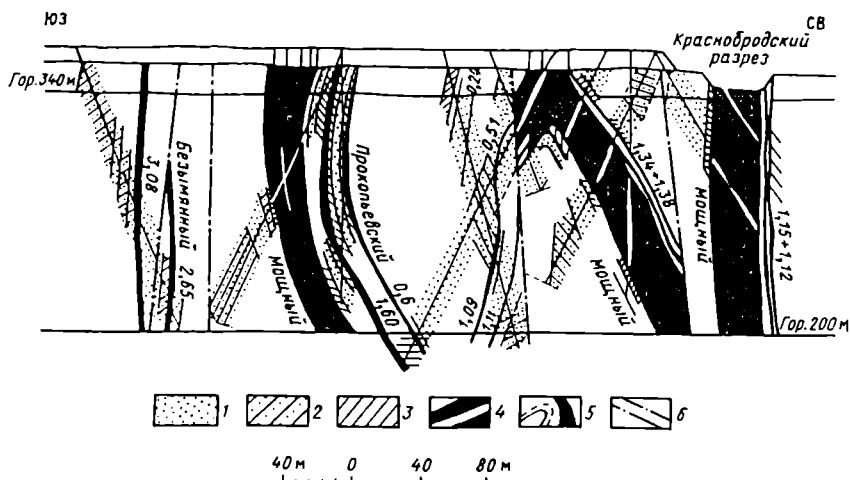


Рис. 5.23. Схематический геологический разрез по разведочной линии 44 Краснобродского разреза Кузбасса (по Э.М. Паху и И.В. Поповой):

1 — песчаники; 2 — алевролиты; 3 — аргиллиты; 4 — углистые аргиллиты; 5 — пласты угля, их мощность, м; 6 — разрывные нарушения

ном буро-землистые и плотные матовые, реже уплотненные и сцементированные.

Геосинклинальные бассейны резко отличаются от платформенных по характеру складчатости и разрывных нарушений. В геосинклинальных бассейнах угленосные отложения обычно смяты в складки и разбиты разнообразными дизъюнктивными нарушениями. Интенсивность складчатости и проявления разрывной тектоники могут существенно варьировать в пределах отдельных бассейнов и месторождений. Так, в присалаирской части Кузбасса и со стороны Колывань-Томской складчатой области протягивается зона интенсивной складчатости с линейными узкими и очень крутыми складками, местами опрокинутыми и нарушенными (рис. 5.22; 5.23), тогда как в центральной части бассейна расположена зона брахискладчатых структур, разделенных линейными нарушениями северо-западного простирания (рис. 5.24).

Аналогичные различия в особенностях нарушения залегания угленосных отложений наблюдаются в Карагандинском (рис. 5.25, 5.26) и других бассейнах геосинклинального типа.

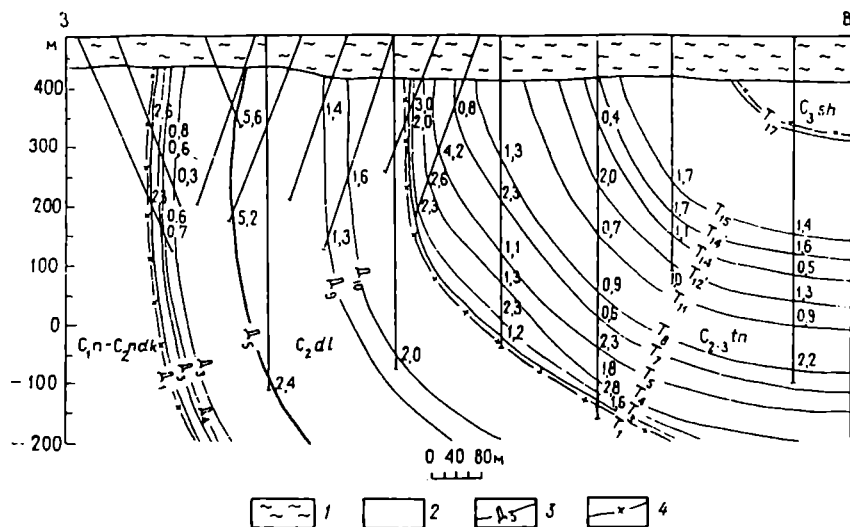
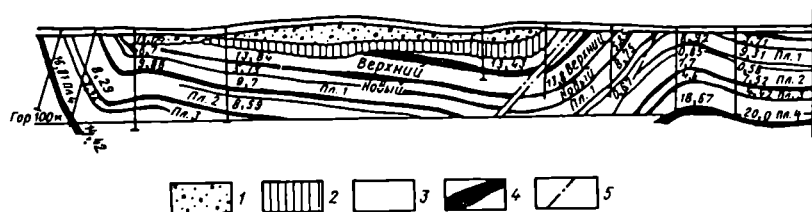


Рис. 5.24. Геологический разрез по Инской разведочной линии Уропского месторождения Кузбасса (по К.Д. Ждановой, П.И. Козловскому, П.В. Протопоповой):

1 — тарбаганская серия (J_{1-3}); 2 — мальцевская серия (T_1); 3 — тайлуганская свита (P_{2l}); 4 — угольные пласты, их мощность, м; 5 — тектонические разрывы

Рис. 5.25. Геологический разрез западной части Тентекского участка Карагандинского бассейна (по А.А. Костливецеву, В.М. Бекману, И.В. Орлову):

1 — неогеновые глины; 2 — свиты карбона (C_{3sh} — шаханская, C_{2-3tn} — тентекская, C_{2dl} — долинская, $C_{1n-C_{2ndk}}$ — надкарагандинская); 3 — угольные пласты долинской (Д) и тентекской (Т) свит, их номера и мощность, м; 4 — границы свит

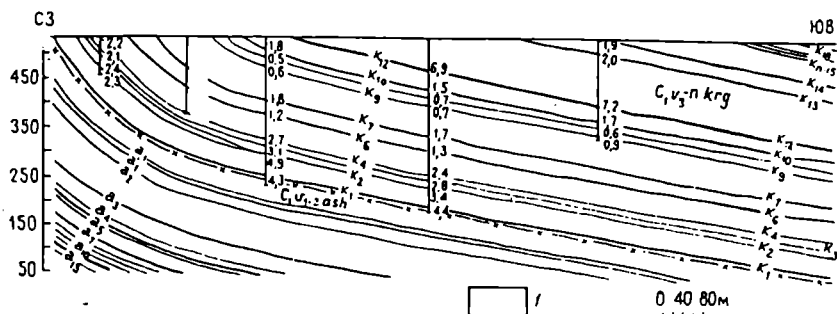


Рис. 5.26. Геологический разрез северо-восточной части Промышленного участка Карагандинского бассейна (по А.А. Костливецву, В.М. Бекману, И.В. Орлову):

1 — свиты карбона (C1v3—n krg — карагандинская, C1v1—2 ash — ашлярикская). Остальные усл. обозначения см. на рис. 5.25

Для платформенных бассейнов типично почти горизонтальное или очень пологое залегание угольных пластов с редкими разрывами, в основном сбросами.

В бассейнах промежуточного типа совмещены отдельные черты как геосинклинальных, так и платформенных бассейнов. Им свойственно большое разнообразие мощностей угленосных толщ, угленосности и фациального состава пород; для угленосных толщ характерны угли марок Д, Г, а иногда и Ж (см. рис. 5.19).

Стратиграфическое и географическое распределение угольных ресурсов

В результате анализа стратиграфического и географического распространения угленосных отложений по всему земному шару и заключенных в них запасов углей П.И. Степанов еще в 1937 г. сделал вывод о существовании максимумов и минимумов угленакопления в определенные геологические этапы развития Земли. По его заключению, первый максимум отмечался в позднекаменноугольное-пермское время, второй — в позднеюрское — раннемеловое, а третий — в позднемеловое — третичное (палеоген и неоген). В ходе дальнейших исследований эти данные были уточнены (рис. 5.27).

Изучение географического распределения бассейнов позволило Д.И. Степанову разработать гипотезу о поясах и узлах угленакопления. На поверхности земного шара он выделил пло-

**Распределение общих геологических запасов углей СНГ
по возрасту и маркам, млрд т (по А.В. Тяжову)**

Марка угля	Б ₁	Б ₂ , Б ₃	Д	Г, ГЖ	Ж	
Всего*	6800	231	1847	2089	670	191
В том числе:						
карбонный	475	—	54,6	108	113	12,6
пермский	3291	—	54,3	1240	358	110
триасовый	2,69	—	1,80	—	0,16	—
юрский	1534	25,7	986	333	132	12,6
меловой	1234	2,20	704	395	65,2	35,4
палеогеновый и неогеновый	265	203	6,1	13,2	1,76	0,39
Марка угля	ЮЖ, К	ОС	С	Т	ПА, А	Без раз- деления по мар- кам
Всего	112	103	646	225	682	7,54
В том числе:						
карбонный	15,9	43,7	31,9	39,9	54,6	1,49
пермский	65,6	44,8	614	176	627	5,17
триасовый	—	—	—	0,798	—	—
юрский	14,4	4,65	2	4,49	0,12	0,74
меловой	16,1	12,6	2	3,33	2	0,058
палеогеновый и неогеновый	1,12	—	—	0,11	—	—

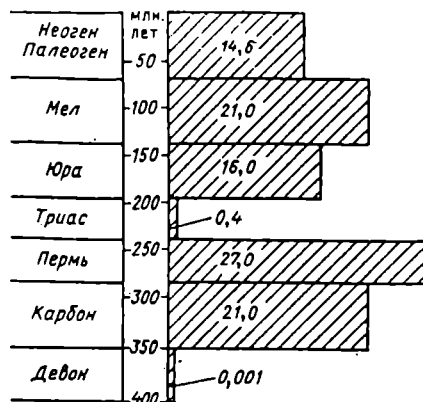
* Включая 0,079 млрд т девонских углей

щади с преобладанием угленакопления: 1) каменноугольного; 2) пермского и юрского; 3) верхнемелового и палеоген-неогенового.

Площади с преобладанием угленакопления в каменно-угольном периоде протягиваются в широтном направлении из восточных штатов США в Великобританию, а далее через север Франции, Бельгию, Германию, Чехию, Польшу, СНГ (Донбасс, Подмосковный, Кизеловский, Карагандинский бассейны, Северный Казахстан). Максимум угленакопления относится к среднему и верхнему карбону, а узлы его расположены в следующих регионах: нижнекаменноугольный — в Карагандинском, среднекаменноугольный — в Верхнесилезском (Польша) бассейнах; средне-верхнекарбонных узлов два — североамериканский и западноевропейский.

Пояс с преобладанием пермского угленакопления прослеживается в направлении близком к меридиональному, от Печорского бассейна к Таймырскому и Тунгусскому, затем через Кузнецкий и Минусинский к бассейнам Монголии (Тован-Толгой), КНР (Шанси и др.), Индии и Восточной Австралии (Новый Южный Уэльс).

Рис. 5.27. Распределение (в %) мировых запасов угля в стратиграфическом разрезе (по А.К. Матвееву и Н.Г. Железновой)



Юрские пояса угленакопления снова начинают приобретать широтное направление. Площади с максимальным проявлением позднемелового, палеогенового и неогенового угленакопления охватывают восточное побережье Азии и Австралии, архипелаги Океании, западное побережье Северной и Южной Америки.

На территории СНГ древнейшие угольные бассейны каменноугольного возраста расположены в основном в пределах европейской части (Донецкий, Подмосковский, Кизеловский, Львовско-Волынский), а также в Центральном Казахстане (Карагандинский), пермские бассейны (за исключением Печорского) — в Западной (Кузнецкий, Минусинский) и Восточной Сибири (Таймырский и Тунгусский), юрские и меловые — в Восточной Сибири, Забайкалье и частью на Дальнем Востоке (Канско-Ачинский, Иркутский, Ленский, Южно-Якутский, Буреинский, Партизанский и др.). Наиболее молодые бассейны (меловые, палеогеновые и неогеновые) известны на Дальнем Востоке и Сахалине.

На территории СНГ древнейшие угольные бассейны каменноугольного возраста расположены в основном в пределах европейской части (Донецкий, Подмосковский, Кизеловский, Львовско-Волынский), а также в Центральном Казахстане (Карагандинский), пермские бассейны (за исключением Печорского) — в Западной (Кузнецкий, Минусинский) и Восточной Сибири (Таймырский и Тунгусский), юрские и меловые — в Восточной Сибири, Забайкалье и частью на Дальнем Востоке (Канско-Ачинский, Иркутский, Ленский, Южно-Якутский, Буреинский, Партизанский и др.). Наиболее молодые бассейны (меловые, палеогеновые и неогеновые) известны на Дальнем Востоке и Сахалине.

По масштабам запасов (в млрд т) основные бассейны и месторождения углей СНГ распределены следующим образом:

более 1000 — Тунгусский, Ленский;

200—700 — Кузнецкий, Канско-Ачинский, Таймырский;

50—100 — Донецкий, Зырянский;

30—50 — Тургайский, Печорский, Карагандинский, Иркутский;

10—30 — месторождения Средней Азии, Минусинский, Южно-Якутский, Буреинский, Подмосковский;

5—10 — Экибастузский;

1—5 — Днепровский, Южно-Уральский, Челябинский;

менее 1 — Партизанский, Львовско-Вольнский, Кизеловский.

Кроме этого, около 500 млрд т запасов находится в небольших по размерам угольных месторождениях, размещающихся по всей территории СНГ. Количество запасов угля, пригодных к освоению, т.е. разведанных до промышленных категорий, в разных бассейнах далеко не одинаково — в одних (Донецкий, Минусинский, Экибастузский, Днепровский) оно превышает 50 %, в других (Кузнецкий, Канско-Ачинский, Иркутский, Подмосковский) составляет 25—35 %, а третьих (Ленский, Тунгусский, Таймырский, Зырянский) — исчисляется сотыми долями процента.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое каустобиолиты? Какое значение они имеют для народного хозяйства?

2. Какие геологические факторы и показатели определяют условия и направления промышленного использования твердых горючих ископаемых?

3. Перечислите показатели качества ископаемых углей.

4. Что такое торф? Назовите его основные свойства и качественные характеристики.

5. На какие типы разделяются ископаемые угли по составу материнского вещества?

6. Какие геологические факторы определяют условия образования углей? Как они изменялись в геологической истории планеты?

7. Назовите литотипы ископаемых углей.

8. Приведите классификацию и характеристику трещин ископаемых углей.

9. По каким признакам приближенно определяют марки ископаемых углей?

10. Перечислите микрокомпоненты ископаемых углей и микрокомпонентный состав литотипов.

11. Дайте характеристику петрографического состава ископаемых углей различного возраста.

12. Какие компоненты определяют элементный и групповой состав углей?

13. Объясните зависимость физических и физико-механических свойств углей от их петрографического состава и степени метаморфизма.

14. Какие показатели состава углей влияют на склонность их к окислению и самовозгоранию?

15. Какие характеристики определяют при техническом анализе углей? Для каких целей используют результаты технического анализа?

16. Как изменяются влажность, зольность, выход летучих веществ, теплота сгорания, спекаемость, коксующесть в углях различных марок?

17. В чем заключаются особенности разведки месторождений металлических полезных ископаемых (на примере месторождений железа и марганца)?

18. Каковы особенности разведки россыпных месторождений?

19. Расскажите об особенностях разведки месторождений неметаллических полезных ископаемых (на примере месторождений фосфатного сырья и минеральных солей).

20. Охарактеризуйте особенности разведки месторождений горючих ископаемых.

21. На какие марки разделяются ископаемые угли в промышленной классификации?

22. Расскажите о классификации углей по генетическим и технологическим параметрам.

23. По каким показателям производится промышленно-генетическая классификация углей?

24. Перечислите основные направления использования углей в народном хозяйстве.

25. В каких отраслях промышленности используется основная масса добываемых углей?

26. Какие угли относятся к коксующимся? На какие категории они разделяются?

27. Какие основные требования предъявляют к углям различные отрасли промышленности?

28. Что такое угольный пласт, угольный слой? Что называется почвой и кровлей угольного пласта? Как изображается графически структура угольного пласта?

29. Как распределяются угольные пласты по структурным признакам?

30. Приведите классификацию угольных пластов по мощности, степени ее выдержанности, углу падения. Какие существуют типы контактов угольных пластов с почвой, кровлей и породными прослоями?

31. Дайте характеристику эпи- и сингенетических нарушений угольных пластов.

32. Приведите классификацию размывов угольных пластов. Как изменяется морфология угольных пластов под влиянием тектонических воздействий, внедрения интрузивных пород, проявлений карста, при выгорании угля?

- 33. Что называется угленосной толщей?
- 34. Объясните понятие угленосная формация.
- 35. Что называется угольным месторождением, бассейном?
- 36. Назовите особенности геосинклинальных угленосных бассейнов.
- 37. По каким характеристикам геологического строения и вещественного состава платформенные угленосные бассейны отличаются от геосинклинальных и промежуточных?
- 38. Расскажите о стратиграфическом и географическом распространении угленосных отложений.
- 39. Как распределены запасы углей по бассейнам СНГ?

РАЗВЕДКА И ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

6.1. СИСТЕМА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР

Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых является самостоятельной наукой геологического цикла. Как и всякая другая наука она имеет свой предмет (месторождения и проявления полезных ископаемых), цель (обеспечение народного хозяйства промышленными запасами минерального сырья) и методы исследования (создание систем разрезов, опробование и геолого-экономическая оценка). В соответствии с главной целью рассматриваемой науки ее основной задачей считается геолого-промышленная оценка недр.

Геологическое изучение недр в России проводится последовательно и планомерно с тем, чтобы не только получить необходимую геологическую информацию о недрах, но и своевременно выявить промышленные и отбраковать непромышленные скопления полезных ископаемых. В общей системе геологического изучения недр можно выделить четыре основных крупных этапа: геологическая съемка территории, поиски месторождений полезных ископаемых, их разведка и эксплуатация (разработка). Этапы геологического изучения включают несколько последовательных стадий:

1) региональное геологическое изучение территории РФ, которое, в свою очередь, разбивается на две подстадии:

а) региональные геолого-геофизические исследования масштаба 1 : 1 000 000 — 1 : 500 000;

б) региональные геофизические, геолого-съемочные, гидро-геологические и инженерно-геологические работы масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000);

- 2) геолого-съемочные работы масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) с общими поисками;
- 3) поисковые работы;
- 4) поисково-оценочные работы;
- 5) предварительная разведка;
- 6) детальная разведка;
- 7) доразведка месторождения: а — не освоенного промышленностью; б — разрабатываемого;
- 8) эксплуатационная разведка.

На каждой стадии геологического изучения недр осуществляется их геолого-промышленная оценка, заключающаяся в определении действительной или возможной значимости изучаемого участка земной коры, в котором содержатся или могут содержаться скопления полезной минерализации или же предполагается горное строительство. С этой целью исследуются состав и строение горных пород и полезного ископаемого, условия залегания, степень и характер тектонической нарушенности, гидрогеологические и инженерно-геологические характеристики месторождения, географо-экономические условия района и др.

Геолого-промышленная оценка, так же, как и геологическое изучение — процесс непрерывный. Это означает, что каждое новое описание обнажения, скважины, результат исследования пробы должны учитываться и по этим данным должны, если необходимо, вноситься коррективы в оценку на всех этапах промышленного освоения.

На предпроектных этапах промышленного освоения недр геолого-промышленная оценка заключается в предварительном изучении геологических условий и определении прогнозных ресурсов, а в случае, если промышленное значение месторождения не вызывает сомнений, то и в подсчете запасов.

На этапе проектирования горнодобывающего предприятия или объекта горного строительства результатом геолого-промышленной оценки должно быть выявление с необходимой степенью достоверности всех пространственно-морфологических, объемно-качественных, гидрогеологических и инженерно-геологических факторов и показателей осваиваемого природного объекта.

На дальнейших этапах промышленного освоения геолого-промышленная оценка осуществляется в процессе получения новых знаний о геологических особенностях объекта и с учетом

изменения технико-экономических показателей и условий его освоения.

Таким образом, необходимую геологическую информацию для геолого-промышленной оценки недр на предпроектных этапах их освоения получают в результате проведения комплексной геологической съемки, поисков и разведки разной степени детальности, а на последующих этапах — по данным доразведки (разведки в пределах горного отвода), эксплуатационной разведки и геологического обеспечения горно-эксплуатационных работ.

6.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Итогом геолого-промышленной оценки месторождения является подсчет запасов и оценка прогнозных ресурсов полезных ископаемых или определение горно-геологических условий горного строительства.

Утвержденная в 1981 г. новая классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых устанавливает единые для России принципы оценки прогнозных ресурсов, подсчета и государственного учета запасов по степени изученности и народнохозяйственному значению, а также условия определения подготовленности месторождений для промышленного освоения.

Под *запасами и прогнозными ресурсами* понимается количество полезного ископаемого и полезных компонентов в пределах месторождения (проявления) или его участка, определенное в недрах, т.е. без вычета потерь при добыче, транспортировке, обогащении и переработке. Запасы строительных материалов подсчитываются (прогнозные ресурсы — оцениваются) в объемном выражении, других полезных ископаемых — по массе.

В соответствии с народнохозяйственным значением выделяются *две группы запасов: балансовые и забалансовые.*

К *балансовым* относятся такие запасы, использование которых согласно утвержденным кондициям экономически целесообразно при существующей или осваиваемой технике и технологии с соблюдением требований по рациональному использованию недр и охране окружающей среды.

Забалансовыми считаются запасы, которые в настоящее время использовать экономически нецелесообразно или технически и технологически невозможно, но которые в будущем могут быть переведены в балансовые.

Они подсчитываются и учитываются в тех случаях, когда доказана возможность сохранения их в недрах или целесообразность попутного извлечения из недр вместе с балансовыми и последующего сохранения на складах (в отвалах). К группе забалансовых запасы могут быть отнесены по различным причинам: вследствие малого количества полезного ископаемого и (или) полезного компонента, низкого содержания последнего, высокого содержания вредных примесей, малой мощности полезного ископаемого, особо сложных условий разработки (это может быть связано, например, с аномально высокой обводненностью, очень сильной тектонической нарушенностью и др.), необходимости применения дорогостоящих и сложных схем обогащения или переработки и др.

В зависимости от степени изученности соответствующих участков месторождения выделяются *четыре категории запасов* полезных ископаемых: А, В, С₁ и С₂. При этом запасы категорий А, В и С₁ называются разведанными, а категории С₂ — предварительно оцененными. Для отнесения запасов к той или иной категории изучаются с различной степенью детальности пространственно-морфологические особенности полезного ископаемого (табл. 6.1, показатели 1—6) качественные характеристики (7—10), горнотехнические условия (показатель 11). Кроме показателей, приведенных в табл. 6.1, для определения принадлежности запасов к соответствующей категории необходимо исследование технологических свойств полезного ископаемого с детальностью, достаточной для категории А — для составления проекта технологической схемы, для категории В — для выбора принципиальной технологической схемы, для категорий С₁ и С₂ — для обоснования промышленной ценности полезного ископаемого.

Таким образом, категории запасов характеризуют не столько точность определения количества полезного ископаемого и полезных компонентов, сколько полноту и достоверность изучения геологических и горно-технических особенностей соответствующего участка месторождения полезных ископаемых.

Прогнозные ресурсы обычно оцениваются на начальных стадиях геологического изучения недр. *В зависимости от де-*

Характеристики необходимой степени изученности запасов разных категорий

Изучаемые факторы и показатели	Категории запасов			
	A	B	C ₁	C ₂
1. Размеры тел полезных ископаемых	Установлены полностью	Установлены полностью	Выяснены	Оценены по геологическим и геофизическим данным и подтверждены единичными выработками
2. Формы тел полезных ископаемых	Установлены полностью	Установлены основные особенности	Выяснены	
3. Условия залегания	Установлены полностью	Установлены основные особенности	Установлены основные особенности	
4. Характер и закономерности изменчивости морфологии и внутреннего строения тел	Изучены	Установлены основные особенности	Установлены основные особенности	Оценены по геологическим и геофизическим данным и подтверждены единичными выработками
5. Безрудные и некондиционные участки внутри тел полезных ископаемых	Выделены и оконтурены	Установлены закономерности размещения	Оценена возможность прорывистости	
6. Разрывные нарушения	Установлены все, определены амплитуды	Установлены крупные, оценена частота встречаемости мелких	Оценена возможность наличия	
7. Природные разновидности (минеральные типы) полезных ископаемых	Установлены полностью	Определены	Установлены общезаконмерности распределения	Определены либо по единичным лабораторным пробам или на блочениям, либо по аналогии
8. Промышленные (технологические) сорта руд	Установлены и оконтурены	Выделены, установлены соотношения между ними		
9. Состав, свойства, распределение ценных и вредных компонентов	Установлены полностью	Установлены по всем показателям		
10. Характеристики качества по показателям кондиций	Установлены полностью	Определены основные показатели, их влияния на вскрытие и разработку	Дана предварительная характеристика основных показателей	
11. Инженерно-геологические и гидрогеологические условия				

тальности проведенных исследований и достоверности полученных данных выделяются три категории прогнозных ресурсов: P_1 , P_2 и P_3 .

Прогнозные ресурсы категории P_1 оцениваются, как правило, на флангах эксплуатируемых месторождений и учитывают возможность прироста запасов за счет расширения площади разведки за контуры запасов категории C_2 . Ресурсы этой категории подсчитываются по результатам поисково-оценочных работ на основе геологических, геофизических и геохимических исследований, по данным геологической экстраполяции количества и качества полезного ископаемого, а также принимая во внимание литологические, стратиграфические и структурные предпосылки локализации оруденения.

Прогнозные ресурсы категории P_2 характеризуют возможность обнаружения новых месторождений на основе выявленных при крупномасштабной геологической съемке проявлений полезной минерализации, а также геофизических или геохимических аномалий, природа которых установлена единичными выработками. Количественная оценка прогнозных ресурсов категории P_2 осуществляется по предварительным параметрам по аналогии с известными месторождениями.

Прогнозные ресурсы категории P_3 позволяют оценить потенциальные возможности наличия новых промышленных месторождений на основе стратиграфических, литологических и тектонических предпосылок, выявленных при геологической съемке. Количественная оценка прогнозных ресурсов этой категории проводится по предположительным параметрам по аналогии с существующими продуктивными районами и областями распространения полезных ископаемых.

Классификацией запасов все месторождения полезных ископаемых объединены в четыре группы по сложности геологического строения, изменчивости качества и условий залегания тел полезных ископаемых:

К 1-й группе относятся месторождения или их участки простого строения с ненарушенными или слабонарушенными условиями залегания, выдержанными мощностью, внутренним строением, качеством и с равномерным распределением полезных компонентов. На подобных объектах разведка может проводиться с детальностью, обеспечивающей подсчет запасов до категорий А и В.

2-я группа включает месторождения или их участки сложного геологического строения — либо с изменчивой мощно-

стью и внутренним строением, либо с нарушенным залеганием и невыдержанным качеством полезного ископаемого, либо с неравномерным распределением полезных компонентов. К этой же группе принадлежат также месторождения углей и солей простого строения, но с очень сложными горно-геологическими условиями. Эти месторождения разведывать до детальности, соответствующей категории А, нецелесообразно.

3-я группа объединяет месторождения или их участки очень сложного геологического строения, характеризующиеся резкой изменчивостью мощности и внутреннего строения или интенсивно нарушенным залеганием, или невыдержанным качеством и весьма неравномерным распределением полезных компонентов. На этих месторождениях нецелесообразно разведывать запасы даже до категории В.

В 4-ю группу входят месторождения или их участки весьма сложного геологического строения. Особенностью месторождений этой группы является резкая изменчивость мощности и внутреннего строения тел полезных ископаемых или интенсивные нарушения залегания, а также невыдержанность качества и весьма неравномерное распределение полезных компонентов. Разведка этих месторождений требует применения большого объема подземных работ.

Приведенная группировка месторождений по сложности геологического строения используется для целей разведки, обуславливает требования к подсчету запасов месторождений и положена в основу специальных инструкций ГКЗ по применению классификации запасов к месторождениям практически всех видов минерального сырья.

Промышленное назначение запасов различных категорий в значительной мере зависит от степени сложности геологического строения.

На месторождениях 1-й группы запасы категории А используются для текущего проектирования добычи (составления планов горных работ в пределах года) и оперативного управления горными работами. Запасы категории В (точнее, сумма запасов категорий А и В) используются для перспективного (более 1 года) планирования горных работ, обоснования капитальных вложений в строительство горнодобывающего предприятия и составления технического проекта разработки месторождения. Запасы категории С₁ на новых, еще не эксплуатируемых месторождениях используются для составления проектов детальной разведки, а на разрабатываемых — для обоснования перспек-

тивных планов развития или реконструкции на длительный срок (более 5 лет), а также для составления проектов доразведки. Запасы категории C_2 на действующих месторождениях обычно во внимание не принимаются (за исключением весьма крупных и хорошо изученных), а на новых — служат для обоснования направления и объемов дальнейших геологоразведочных работ.

На месторождениях 2-й группы сложности геологического строения назначение запасов категории А выполняют запасы категории В, а категории В — C_1 .

На месторождениях 3-й группы функции запасов категорий А и В переходят к C_1 , а на месторождениях 4-й группы даже запасы категории C_2 учитываются для перспективного планирования и обоснования капитальных вложений.

Классификации запасов полезных ископаемых, действующие в зарубежных странах, построены по тем же двум принципам: степени изученности (вероятности наличия) и экономической целесообразности (рентабельности) их добычи и разработки.

Классификации, существующие в европейских странах, близки к классификации, принятой в России. В них лишь несколько отличаются требования к степени изученности различных категорий. В большинстве капиталистических и развивающихся стран используются отдельные частные классификации. Однако в США, Канаде и Германии государственными геологическими органами приняты классификации, рекомендуемые для общего использования. Например, в США по степени изученности выделяются две группы запасов (ресурсов): необнаруженные (undiscovered) и установленные (identified). В свою очередь различают две категории обнаруженных ресурсов — теоретические (speculative) и гипотетические (hypothetical), и три установленных — предположительные (inferred), исчисленные (indicated) и измеренные (measured). По рентабельности разработки ресурсы делятся на две группы: запасы (reserves) и условные ресурсы (conditional resources).

6.3. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЪЕМКА И ПОИСКИ

Основной целью геологической съемки является комплексное изучение поверхностной части земной коры и выделение на этой основе перспективных для выявления месторождений полезных ископаемых участков, подлежащих более детальному исследованию. Геологическая съемка осуществляется путем непосредственных геологических наблюдений (документация ес-

тественных и искусственных обнажений), дешифрирования аэро- и космических фотоснимков и проведение геофизических, геохимических, петрографических и других видов специальных геологических исследований. По результатам геологической съемки составляются не только собственно геологическая, но и ряд специальных карт: тектоническая, геоморфологическая, металлогеническая, гидрогеологическая, карта геофизических и геохимических аномалий и др. Карты сопровождаются подробной пояснительной запиской, в которой характеризуются геологическое строение и история геологического развития района, объясняется природа обнаруженных аномалий, обосновываются установленные поисковые признаки и предпосылки.

В зависимости от масштабов составляемых карт и, следовательно, детальности и объема исследований, геологическая съемка подразделяется на обзорную (масштабы от 1 : 1 000 000 до 1 : 500 000), региональную (масштабы от 1 : 200 000 до 1 : 50 000) и локальную, или крупномасштабную (масштабы от 1 : 25 000 до 1 : 1000).

В случае, если по результатам геологической съемки выявлены поисковые признаки и предпосылки или геофизические и геохимические аномалии, природа которых может быть связана с наличием полезных ископаемых, проводятся геологические поиски. Они представляют собой комплекс разнообразных исследований и работ, выполняемых с целью оценки промышленного значения проявлений полезной минерализации или поисковых признаков и предпосылок, установленных в процессе геологической съемки.

Поисковыми признаками считаются какие-либо конкретные факты, указывающие на наличие в данном районе полезной минерализации. Они могут быть как геологического (выходы полезного ископаемого на поверхность, обломки его в делювии и аллювии, повышенная концентрация основных и сопутствующих элементов в почве и золе растений и др.), так и негеологического — историко-археологического (находки древних горных выработок, остатков плавильных печей, соответствующая топонимика, мифы и др.) характера.

Поисковые предпосылки или критерии — это геологические факты, прямо или косвенно свидетельствующие о возможности обнаружения в данном районе полезных ископаемых. К ним относятся различные геологические факторы стратиграфического, литологического, магматического или тектонического характера, определяющие условия образования или локализации полезных ископаемых.

Геологические поиски выполняются поэтапно с последовательным увеличением детальности исследований: общие поиски масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000), поисковые работы масштабов 1 : 25 000—1 : 5000 и поисково-оценочные работы масштабов 1 : 5000—1 : 1000. Каждый последующий этап организуется, если на предыдущем получены положительные результаты.

В процессе поисков проводят визуальные геологические наблюдения, зарисовывают и описывают естественные и искусственные обнажения, проходят простейшие горные выработки (закопушки, расчистки, небольшие канавы и шурфы), отбирают порции (пробы) полезного ископаемого и вмещающих пород, которые затем анализируют и испытывают для оценки качественных показателей, осуществляют разнообразные геофизические измерения и исследования.

Основной задачей общих поисков является проверка перспективности поисковых признаков и предпосылок и выяснение природы геофизических и геохимических аномалий, обнаруженных в процессе геологической съемки. Геолого-промышленная оценка исследованной территории на данной стадии заключается в определении прогнозных ресурсов категории P_2 и выделении участков, перспективных для постановки дальнейших поисков.

Поисковые, а затем поисково-оценочные работы выполняются на участках, где полезное ископаемое уже обнаружено, и сопровождаются небольшими объемами горных работ, химических анализов и геофизических исследований. Их задачей является геолого-промышленная оценка проявления полезного ископаемого. Поскольку количественные измерения в процессе поисков проводятся в относительно небольшом объеме и, как правило, недостаточном для подсчета запасов даже по категории C_2 , основой геолого-промышленной оценки служат не расчеты, а обоснованные предположения о форме и размерах тел полезных ископаемых, их качественных показателях и горно-технических условиях разработки. Основной способ оценки — аналогия, т.е. сравнение параметров обнаруженного проявления с уже изученными месторождениями полезных ископаемых.

Сравнению (анalogии) подлежат в обязательном порядке следующие параметры:

- 1) масштаб месторождения (общее количество полезного ископаемого, число и размеры тел и др.);

2) качество полезного ископаемого (содержание полезных и вредных компонентов, текстурно-структурные характеристики, минеральный состав и др.);

3) продуктивность месторождения (количество полезного ископаемого на единицу площади или объема месторождения);

4) горнотехнические условия (крепость, устойчивость полезного ископаемого и вмещающих пород, гидрогеологические и инженерно-геологические характеристики и др.);

5) экономико-географические условия района (обеспеченность энергией, стройматериалами, трудовыми ресурсами, транспортные связи, рельеф, климат, возможности водоснабжения и др.).

Конечным итогом таких сравнений является оценка прогнозных ресурсов по категориям P_2 или P_1 (по результатам поисковых работ) и подсчет запасов по категории C_2 (на стадии поисково-оценочных работ).

6.4. РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Разведка месторождений полезных ископаемых представляет собой комплекс исследований и необходимых для их выполнения работ, направленных на определение промышленного значения месторождений. Разведкой завершается геологическое изучение данного участка недр на предпроектной стадии его промышленного освоения.

6.4.1. Задачи разведки

Конечной целью разведки, ее результатом в количественном выражении является подсчет запасов полезного ископаемого и полезных компонентов. Поэтому главной задачей разведки будет определение количества и качества полезного ископаемого, содержащегося в месторождении. Количество полезного ископаемого может быть подсчитано путем выявления объема, занимаемого им в пространстве. Следовательно, для решения этой задачи в процессе разведки изучаются форма, размеры, условия залегания и нарушенность тел полезных ископаемых.

Показатели качества полезного ископаемого предопределяются его промышленным назначением. Так, для металлических руд и агрохимического сырья важно установить содержание полезных и вредных компонентов и соединений, для строи-

тельных материалов — физические свойства, для минерального топлива — теплоту сгорания и зольность и др. Качество сырья обусловлено не только основными кондиционными показателями, но и характером распределения этих показателей в объеме месторождения, а также наличием различных минеральных и промышленных сортов и типов полезного ископаемого и их взаимным расположением. Оценивается качество полезного ископаемого исходя из возможностей и условий его дальнейшей переработки, т.е. технологических свойств, которые являются функцией минерального и химического состава, текстурно-структурных характеристик и физико-химических свойств.

Таким образом, для оценки качества полезного ископаемого в процессе разведки выявляются вещественный (минеральный и химический) состав полезного ископаемого, его структурно-текстурные характеристики, физико-химические свойства и особенности распределения всех качественных показателей в пространстве.

Однако определение количества и качества полезного ископаемого не единственные задачи, решаемые в процессе разведки, так как этой геологической информации недостаточно для эффективной эксплуатации месторождения. Проектирование, а тем более строительство горнодобывающего предприятия, базируется также на сведениях, характеризующих месторождение и район его размещения. Это, прежде всего, горнотехнические условия: глубина залегания месторождения; отношение тел полезных ископаемых к формам рельефа; возможность развития особых инженерно-геологических явлений (карстоопасность, сейсмичность, склонность руд к самовозгоранию и др.); физико-механические и водно-физические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород; количество и взаимосвязь водоносных горизонтов, их водообильность, химический и бактериальный состав подземных и поверхностных вод и др. Кроме того, необходимы сведения экономико-географического характера: промышленная освоенность района, климат, рельеф, энергетические ресурсы, транспортные возможности, обеспеченность питьевой и технической водой, строительными материалами и др.

Таким образом, *основной задачей разведки является получение необходимой и достаточной информации о геологических, горнотехнических и экономических условиях освоения месторождения.*

6.4.2. Принципы разведки

Месторождения полезных ископаемых являются природными телами, обладающими разнообразными и изменчивыми свойствами. Однако, несмотря на индивидуальность строения каждого месторождения, в основу разведки любого из них могут быть положены единые принципы, так как геологоразведочный процесс осуществляется на определенном уровне развития производительных сил и преследует одну цель — выявление в недрах промышленных запасов полезных ископаемых.

Разведка месторождений полезных ископаемых очень дорогостоящий и порою длительный процесс, требующий участия многочисленных специалистов и значительных затрат материальных ресурсов. В то же время, в результате разведки не производятся материальные ценности. Ее итогом является информация о недрах, от достоверности и полноты которой зависит эффективность дальнейшего промышленного освоения месторождения. Поэтому основные принципы разведки построены на геологической основе и исходят из главного принципа — народнохозяйственной целесообразности. Эти принципы таковы:

- 1) полнота исследований;
- 2) последовательные приближения;
- 3) равномерность (равная достоверность);
- 4) наименьшие материальные и трудовые затраты;
- 5) наименьшие затраты времени.

Принцип полноты исследований заключается в необходимости изучения с той или иной степенью детальности всего объема, занимаемого месторождением, т.е. в результате проведенной разведки должна быть дана оценка всем телам полезных ископаемых и месторождению в целом.

Соблюдение данного принципа предусматривает выполнение ряда требований, основными из которых являются следующие:

- 1) полное оконтуривание всего месторождения и, если в его состав входит несколько тел, оконтуривание всех тел полезных ископаемых;
- 2) полное пересечение разведочными выработками каждого тела полезного ископаемого или продуктивной зоны минимум в 2-х точках;
- 3) всестороннее изучение качественных показателей полезного ископаемого и всех сопутствующих ему минеральных скоплений;

4) комплексное изучение месторождения.

Первое требование принципа полноты исследований вытекает из необходимости оценки всех возможных перспектив месторождения. В противном случае не исключены как напрасные затраты на слишком детальное изучение непромышленного проявления, так и неоправданные задержки с вовлечением в эксплуатацию промышленных месторождений.

Рассматривая требование полноты оконтуривания, не надо забывать, что его выполнение не связано с обязательным использованием горных выработок или других дорогостоящих технических средств для оконтуривания всей перспективной площади. Естественно, что надежность и точность определения границ месторождения или отдельных тел полезных ископаемых будут определяться исходя из их масштабов и детальности разведки с учетом сроков последующей отработки. Однако общие контуры месторождения или поля полезных ископаемых должны быть хотя бы приближенно установлены на самых начальных этапах разведки. При разведке особо крупных месторождений оконтуривание, безусловно, должно проводиться по частям, а общие контуры поля распространения полезного ископаемого выявляться с привлечением геофизических методов и геолого-структурного картирования.

Необходимость соблюдения этого требования можно проиллюстрировать таким примером. Одно из месторождений золота в течение нескольких лет признавалось не заслуживающим промышленного освоения, так как оценивалась только центральная относительно небольшая жила и не изучались вмещающие породы, которые, как оказалось при более полном исследовании, были пронизаны густой сетью мелких золотосодержащих прожилков, распространяющихся на значительную площадь и глубину. В результате это небольшое «проявление» оказалось промышленным месторождением.

Обязательность выполнения второго требования принципа полноты исследований — полного пересечения тела полезного ископаемого или продуктивной зоны — очевидна. Только при полном, от контакта до контакта, пересечении тела полезного ископаемого можно установить его мощность, условия залегания, распределение минеральных сортов и промышленных типов полезного ископаемого и полезных компонентов.

Необходимость соблюдения третьего требования — всестороннего изучения качества основного полезного ископаемого и

всех сопутствующих компонентов — обосновывается прежде всего тем, что в природе практически нет мономинеральных руд. Большинство месторождений черных и цветных металлов содержат несколько полезных компонентов, в т. ч. редкие и рассеянные элементы, а в таком, казалось бы «простом», полезном ископаемом, как уголь, нередко отмечаются промышленные концентрации ценнейших компонентов — ванадия, урана, германия и др. Кроме того, вблизи тела основного полезного ископаемого или совместно с ним иногда располагаются обособленные скопления другого полезного ископаемого (уголь и огнеупорные глины, уголь и железные руды, железные руды и бокситы, полиметаллы и флюорит, полиметаллы и барит и др.). Причем нередко эти полезные ископаемые самостоятельного промышленного значения не имеют, но их разработка попутно с основным существенно улучшает экономические показатели горнодобывающего предприятия.

Четвертое требование — комплексность изучения — вытекает из общих задач разведки. Оно означает, что в процессе проведения геологоразведочных работ должны изучаться не только показатели, характеризующие количество и качество полезного ископаемого, но и все другие геологические и горнотехнические условия, т.е. применяемые технические средства должны обеспечивать возможность выполнения также и гидрогеологических и инженерно-геологических исследований и испытаний.

В заключение необходимо отметить, что принцип полноты исследований не является абсолютным, т.е. он не требует абсолютно полного и детального изучения всего месторождения одновременно.

Этот принцип должен соблюдаться в соответствии с уровнем развития техники и технологии и исходить из запросов практики.

Принцип последовательных приближений предусматривает постепенное, поэтапное наращивание объема сведений о месторождении. Он прямо связан с принципом полноты исследований. В результате разведки должны быть собраны данные о строении месторождения, количестве и качестве полезного ископаемого, горнотехнических условиях его разработки, необходимые и достаточные для проектирования и эксплуатации. Однако далеко не все обнаруженные проявления полезной минерализации могут иметь промышленное значение — в среднем

только одно из двухсот оказывается месторождением. Более того, многие проявления, оцененные на начальных стадиях исследования как перспективные, при дальнейшем изучении признавались не представляющими промышленного интереса. С другой стороны, сразу получить достаточно полные и точные данные обо всем месторождении практически невозможно, да и не всегда целесообразно, особенно в случае его сложного строения или значительных масштабов.

Таким образом, необходимость соблюдения этого принципа продиктована прежде всего экономическими соображениями: расходувать средства на разведку с наименьшим риском их неоправданных затрат или замораживания. Действительно, при постепенном увеличении детальности изучения можно своевременно прекратить разведку, если выясняется, что месторождение непромышленное и тем самым избежать неоправданного расходования средств. Если же месторождение очень большое, то разведка участков, которые будут разрабатываться через длительное время, означает преждевременную трату средств, т.е. их замораживание или даже омертвление.

Принцип последовательных приближений — один из основополагающих, необходимость следовать ему предписывается многочисленными постановлениями и инструкциями отраслевых министерств и Государственной комиссии РФ по запасам.

На практике этот принцип выражается в соблюдении стадийности разведки. Как уже упоминалось, выделяется несколько последовательных стадий разведки:

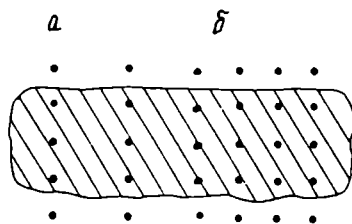
- 1) поисково-оценочные работы;
- 2) предварительная разведка;
- 3) детальная разведка;
- 4) доразведка (разведка в пределах горного отвода);
- 5) эксплуатационная разведка.

Содержание и задачи стадий разведки будут рассмотрены в следующем разделе.

Принцип равномерности (равной достоверности) заключается в необходимости равнодостоверного изучения всего месторождения. Однако выполнение этого принципа не означает, что все пункты наблюдений или разведочные выработки должны располагаться на одинаковом расстоянии друг от друга во всех направлениях. Равномерность должна быть геологическая, а не геометрическая, т.е. разведочные выработки следует располагать с учетом анизотропии свойств полезного ископаемого.

Рис. 6.1. Расположение разведочных выработок с учетом анизотропии свойств полезного ископаемого:

а — правильное; б — неправильное



Если, например, коэффициент вариации распределения полезного компонента по простиранию тела в 2 раза меньше, чем вкрест простирания, то равнодостоверная характеристика показателей качества по всей площади тела будет получена тогда, когда расстояние между разведочными выработками вкрест простирания будет в 2 раза меньше, чем по простиранию (рис. 6.1), а размещение выработок «равномерно» — на одинаковых расстояниях по простиранию и вкрест простирания тела (см. рис. 6.1, б) — будет ошибочным, так как информация о распределении полезного компонента по простиранию будет избыточной. Таким образом, принцип равной достоверности не будет соблюден, а затраты на проведение дополнительных выработок окажутся излишними.

Рассматриваемый принцип предъявляет к технике и методике геологоразведочных работ следующие требования:

1) равномерности освещения разведочными выработками всего месторождения или участков, находящихся в одной и той же стадии разведки;

2) равномерности размещения пунктов определения качественных показателей полезного ископаемого — пунктов опробования;

3) применения технических средств разведки, дающих соизмеримые результаты;

4) применения равнозначных и равноточных методик исследования вещества полезного ископаемого.

Необходимость требований равномерного (с геологической точки зрения) освещения разведочными выработками всего месторождения и равномерного распределения пунктов опробования очевидна — если какие-либо участки месторождения не будут вскрыты разведочными выработками и опробованы или если на разных участках будут использоваться различные сети, то правильно оценить количество и качество полезного ископаемого будет невозможно и, следовательно, главные задачи разведки не будут выполнены.

Однако равномерность распределения выработок на месторождении не следует понимать буквально. В практике разведочных работ нередко одна часть месторождения находится в стадии детальной разведки, а другая — в стадии предварительной. Естественно, что в таких случаях размещение выработок (и пунктов опробования) в целом по месторождению не может быть равномерным.

На решение главных задач разведки направлены также другие требования принципа равномерности. Действительно, нельзя оценить с одинаковой достоверностью количество и качество полезного ископаемого, если один участок месторождения разведывается горными выработками, а другой только геофизическими методами или если качественные показатели в одном случае определяются химическими анализами, а в другом — по косвенным данным.

Принцип наименьших материальных затрат означает, что объемы геологоразведочных работ должны быть минимальными, но достаточными для выполнения основных задач разведки. Иначе говоря, выработок, исследований, испытаний, анализов должно быть ровно столько, сколько необходимо для выявления с нужной степенью достоверности всех характеристик разведываемого месторождения или рудного тела. Очевидно, что меньший объем работ не позволит получить нужной степени достоверности, а больший приведет к излишним затратам средств. При поисках оптимального соотношения между максимальной достоверностью и минимальными затратами средств следует помнить, что при достижении некоторого значения точности показателя (разного, конечно, для разных характеристик полезного ископаемого), увеличение точности на долю процента вызывает увеличение затрат на несколько процентов или даже в несколько раз.

Принцип наименьших затрат времени, как и следует из его названия, требует проводить разведку в кратчайшие сроки. Этот принцип имеет наибольшее экономическое значение: чем быстрее завершится разведка, тем скорее можно начать эксплуатацию месторождения и тем раньше получить отдачу от вложенных на разведку средств. Если в промышленной значимости месторождения нет сомнения, то ради сокращения сроков разведки могут быть нарушены другие принципы, главным образом, принцип последовательных приближений, т.е. стадийность разведки.

Итак, рассмотрены пять принципов разведки. Первый из них отражает цель разведки, второй и третий — методологию, четвертый и пятый — технико-экономические показатели геологоразведочных работ. На первый взгляд принципы разведки противоречат друг другу: принцип полноты исследований, например, принципу наименьших материальных и трудовых затрат и некоторым требованиям принципа равномерности; принципы последовательных приближений и наименьших материальных и трудовых затрат — принципу наименьших затрат времени и др. Однако эти противоречия носят не антагонистический характер. Более того, их наличие стимулирует разработку и совершенствование важнейшей проблемы геологоразведочного дела: достижение необходимой и достаточной достоверности исследования.

В геологоразведочном деле капиталистических стран подход к принципам разведки совершенно иной. Методологические принципы (полноты исследований, равномерности) обычно соблюдаются, но вся разведка подчинена одной цели — скорейшему получению прибыли, скорейшей продаже запасов. Поэтому главный и практически единственный принцип — наименьших затрат времени. Как правило, разведка осуществляется в пределах наиболее богатых участков месторождения. В случае, если месторождение или его часть окажется нерентабельной для разведки, в затратах на разведку предусмотрена норма риска, выражаемая в процентах от общей стоимости разведки.

В угоду скорейшему получению прибыли часто нарушается принцип полноты исследований — изучается только главное полезное ископаемое в пределах безусловно промышленного контура, а бедные участки, вмещающие породы, горнотехнические условия либо вовсе не изучаются, либо их изучение оставляется на долю разработчика месторождения. Например, угольное месторождение Моатиз в Мозамбике, состоящее из серии пластов угля средней и малой мощности, чередующихся с песчаниками, было разведано очень быстро буровыми скважинами с отбором керна только по наиболее мощному пласту «Шинанча», лежащему в основании угленосной толщи. В результате такой разведки остались неизвестными ни горнотехнические условия, ни возможность отработки вышележащих пластов, ни гидрогеологическая обстановка.

6.4.3. Основные задачи стадий разведки

Как уже отмечалось, в соответствии с принципом последовательных приближений геологоразведочный процесс осуществляется в пять последовательных стадий: поисково-оценочные работы, предварительная разведка, детальная разведка, доразведка и эксплуатационная разведка.

В практике геологоразведочных работ стадии разведки обычно отчетливо отличаются друг от друга, особенно при разработке новых месторождений с неясными промышленными перспективами. В то же время при разведке месторождений достаточно крупных или содержащих остродефицитное сырье, нередки случаи, когда не только невозможно отделить стадии друг от друга во времени, но и уже в процессе разведки начинается строительство горнодобывающего предприятия.

Основной задачей *поисково-оценочных работ* является установление промышленного типа выявленного проявления полезных ископаемых и приближенная геолого-экономическая оценка. Как правило, поисково-оценочные работы приурочены к поверхности и тяжелые технические средства (подземные горные выработки, глубокие скважины) еще не применяются. На этой стадии проводится первая отбраковка месторождений и по своей сути поисково-оценочные работы являются промежуточным звеном между поисками и собственно разведкой.

Главной целью *предварительной разведки* является общая оценка месторождения полезных ископаемых, для достижения этой цели в процессе проведения работ этой стадии решаются следующие задачи:

- 1) выясняются общие размеры месторождения;
- 2) приближенно определяются форма, условия залегания, мощность, интенсивность развития тектонических нарушений и общие размеры тел полезных ископаемых;
- 3) приближенно оцениваются качественные показатели, особенности распределения полезных и вредных компонентов, минеральных типов и промышленных сортов, возможная схема технологического процесса переработки или обогащения полезного ископаемого;
- 4) проводится общая оценка инженерно-геологических и гидрогеологических условий месторождения и экономико-географической обстановки района его размещения.

На основе материалов предварительной разведки выполняется ориентировочный подсчет запасов (по категориям C_1 и C_2)

с целью оценки масштабов месторождения, а также составляется технико-экономический доклад (ТЭД), в котором дается промышленная оценка месторождения, обосновываются предварительные кондиции для отбраковки непромышленной части запасов. Если месторождение имеет очень большие размеры и дальнейшая разведка всей площади нецелесообразна, то выделяются (обосновываются) участки для постановки детальной разведки.

Главная цель *детальной разведки* заключается в изучении месторождения с полнотой и достоверностью, достаточной для составления проекта его разработки. Проведение работ этой стадии требует вложения значительных средств и большого времени. В общих затратах на разведку на их долю приходится основная часть. Поэтому детальная разведка начинается только в том случае, если принято решение о разработке месторождения.

На крупных месторождениях, а также на месторождениях остродефицитного сырья и сложного геологического строения, где разведка осуществляется преимущественно горными выработками, детальная разведка должна совмещаться с проектированием и строительством горнодобывающего предприятия.

В процессе детальной разведки решаются следующие задачи:

1) с высокой точностью оконтуривается каждое тело полезного ископаемого, устанавливается его форма и условия залегания;

2) детально изучается характер и закономерности изменчивости морфологии и внутреннего строения тел полезных ископаемых;

3) выделяются и оконтуриваются в пространстве минеральные типы и промышленные сорта полезного ископаемого, а также безрудные и некондиционные участки внутри тел полезных ископаемых;

4) устанавливаются все разрывные нарушения и выявляются их типы, направления и амплитуды смещения по ним;

5) определяются содержания и особенности распределения в пространстве полезных, сопутствующих и вредных компонентов;

6) исследуются структурно-текстурные характеристики полезного ископаемого и его технологические свойства (для каждого промышленного сорта и минерального типа) с детальностью, достаточной для составления проекта технологической схемы обогащения;

7) устанавливаются гидрогеологические условия месторождения;

8) определяются инженерно-геологические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород и другие горнотехнические условия разработки месторождения.

Конечными результатами детальной разведки являются подсчет запасов и разработка промышленных кондиций. Эти основные отчетные документы детальной разведки рассматриваются и утверждаются ГКЗ РФ или территориальными комиссиями по запасам полезных ископаемых (ТКЗ). Все материалы разведки (карты, разрезы, планы, проекции, результаты испытаний и анализов, геофизических, гидрогеологических и инженерно-геологических исследований) передаются проектным организациям для составления проекта отработки разведанного месторождения.

После передачи месторождения в промышленное освоение обычно возникает необходимость дополнительного изучения детально разведанного участка месторождения или расширения его размеров. В таких случаях проводится *доразведка месторождения* (ранее эта стадия геологоразведочного процесса носила название «разведка в пределах горного отвода», или «промразведка»).

Основные задачи, методика выполнения работ, расположение и типы выработок в процессе *доразведки нового, еще не разрабатываемого месторождения* полностью аналогичны таковым при детальной разведке. Дополнительно может быть поставлена лишь еще одна задача — перевод запасов в более высокие категории (из В в А; из С₁ в В и т.д.) в пределах участков, подлежащих первоочередной разработке, если количество разведанных запасов высоких категорий (А и В) недостаточно для рентабельной эксплуатации месторождения в начальный период его отработки.

Доразведка разрабатываемого месторождения осуществляется с целью расширения минерально-сырьевой базы действующего горнодобывающего предприятия. Она охватывает преимущественно фланги и глубокие горизонты месторождения. Основные задачи и методика в общем те же, что и на предыдущих стадиях разведки, однако они имеют ряд особенностей, обусловленных тем, что доразведка обычно ведется в пределах месторождения с хорошо изученными геологическими и географо-экономическими условиями.

Основные особенности доразведки (по сравнению с детальной разведкой) заключаются в следующем. Во-первых, одной из главных ее задач является перевод запасов в более высокие категории. Во-вторых, в ходе работ этой стадии широко применяются технические средства горнодобывающего предприятия, а сечения горных выработок принимаются такими, чтобы их без реконструкции можно было использовать в процессе эксплуатации, даже если это увеличивает затраты на доразведку. В-третьих, расстояние между горно-разведочными выработками выбираются кратными расстоянию между горно-эксплуатационными выработками. Это положение можно пояснить следующим примером. Для изучения участка месторождения с детальностью, соответствующей категории А, достаточно проходить рудные штреки на расстоянии 60 м по вертикали. Однако если высота эксплуатационного этажа принята 50 м, то разведочные рудные штреки должны отстоять друг от друга именно на 50 м. В случае, если высота этажа 50 м, а для обеспечения категории А расстояние между выработками должно составлять 30 м, то следует проходить их через 25 м, применяя для промежуточных межгоризонтных выработок уменьшенные сечения.

Эксплуатационная разведка начинается с момента строительства горнодобывающего предприятия и ведется вплоть до его ликвидации. Геологоразведочные работы на этой стадии разведки выполняются в пределах сравнительно небольших участков месторождения, которые планируется отработать в ближайшие месяцы или год-два (максимальный срок). Поэтому основной задачей эксплуатационной разведки является уточнение в пределах эксплуатационного блока или группы блоков количества и качества запасов полезного ископаемого, условий залегания, горнотехнических условий и др. В зависимости от типов решаемых задач выделяются опережающая и сопровождающая (сопутствующая) эксплуатационная разведка.

Основные задачи *опережающей эксплуатационной разведки* — определение запасов полезного ископаемого и полезных компонентов и уточнение горнотехнических условий в пределах подготавливаемых к выемке запасов. Данные этого вида эксплуатационной разведки используются для нужд текущего планирования, а разведочные выработки размещаются по определенной сети с учетом сложности геологического строения разведываемого участка.

Главная задача *сопровождающей эксплуатационной разведки* заключается в уточнении конкретных деталей строения, особенностей залегания, качественных показателей и горнотехнических особенностей полезного ископаемого в пределах эксплуатационного блока. Поскольку каждая разведочная выработка (или скважина) решает отдельные задачи, то они могут располагаться нерегулярно, вне принятой разведочной сети. Результаты сопутствующей эксплуатационной разведки позволяют вести оперативное управление добычей.

Эксплуатационная разведка обоих видов выполняется за счет средств горнодобывающего предприятия, его техническими средствами и под руководством рудничной геологической службы. Следует заметить, что цели, задачи и особенности методики доразведки и эксплуатационной разведки являются предметом рассмотрения отдельной учебной дисциплины — «Горнопромышленной геологии».

В соответствии со стадиями геологоразведочного процесса организуется и геологическое обеспечение, и технические средства, и финансирование работ. На начальных стадиях (поисково-оценочной, предварительной разведки) создаются сезонные партии, применяются относительно простые и дешевые технические средства, дающие, естественно, и менее точные результаты. Геологоразведочные работы проводятся за счет средств госбюджета. При развертывании предварительной и при выполнении детальной разведки используются уже такие технические средства, которые дают результаты необходимой точности и могут быть использованы при дальнейшей эксплуатации месторождения. Геологические работы осуществляются стационарными круглогодичными партиями и финансируются также за счет средств госбюджета. Доразведка может проводиться как геологоразведочными партиями или экспедициями Геолкома РФ, так и специализированными партиями отраслевых министерств. Финансируется она за счет госбюджетных статей расходов отраслевых министерств, эксплуатационная разведка ведется силами и средствами горнодобывающего предприятия за счет себестоимости продукции.

В проектах геологоразведочных работ любой стадии (от поисково-оценочных работ до эксплуатационной разведки) в обязательном порядке рассматриваются вопросы техники безопасности, а также предусматриваются мероприятия по сохранению окружающей среды.

6.4.4. Методы разведки

Общепринятого определения понятия «методы разведки» в настоящее время нет. Нередко методами разведки называют те или иные способы расположения разведочных выработок или технических средств, что, конечно, не совсем верно. Наибольшим признанием пользуется трактовка основоположника советского геологоразведочного дела В.М. Крейтера, который, исходя из самого определения понятия «метод» (способ познания, изучения явления), предложил присваивать его таким разведочным мероприятиям, которые позволяют теоретически обоснованно решать главные задачи разведки независимо от сложности и разнообразия используемых технических средств. В.М. Крейтер предлагал три основных метода разведки: создание системы разрезов, опробование полезного ископаемого и оценочное сопоставление.

Разведочные геологические разрезы являются до настоящего времени основным способом выяснения формы, внутреннего строения и условий залегания месторождения. Разрезы могут быть вертикальными и горизонтальными, поэтому выделяются три разновидности метода разрезов: вертикальных разрезов, горизонтальных разрезов и комбинированный — вертикальных и горизонтальных разрезов.

В последние годы начинает приобретать самостоятельное значение еще один метод познания морфологических особенностей месторождений полезных ископаемых — геометризация месторождений с помощью ЭВМ и графопостроителя. Ранес, до внедрения ЭВМ в практику и теорию геологоразведочного дела, способы изучения формы и строения тел полезных ископаемых с помощью построения изолиний мощности и других показателей были очень трудоемки и довольно приблизительны. Поэтому они использовались главным образом в качестве вспомогательных, иллюстративных. Ныне существуют пакеты прикладных программ для ЭВМ с графопостроителями, позволяющие в короткие сроки и с точностью, соответствующей детальности разведки, получить исчерпывающую и наглядную информацию о внутренних и внешних особенностях строения тел полезных ископаемых. Вполне возможно, что в будущем этот метод вытеснит традиционный метод создания системы разрезов.

Опробование является единственным способом изучения качественных показателей полезного ископаемого. Вопросы, связанные с опробованием, рассматриваются далее.

Оценочное сопоставление представляет собой способ выявления возможностей и условий использования месторождения по данным разведки. Промышленная оценка ведется в течение всего процесса разведки и заключается в сравнении параметров разведкуемого месторождения (значения которых меняются или уточняются с каждой новой выработкой, пробой, анализом и др.) с параметрами других подобных, но уже освоенных месторождений, а также в определении народохозяйственной целесообразности дальнейшего освоения данного месторождения полезных ископаемых.

6.4.5. Технические средства разведки

Задачи разведки решаются с помощью технических средств, характеризующихся различной стоимостью и скоростью проведения работ, а также обладают разной достоверностью получаемых данных.

Выделяются три группы технических средств разведки: разведочные горные выработки, разведочные буровые скважины и геофизические работы.

Разведочные горные выработки позволяют получать наиболее полную и достоверную информацию, так как они обеспечивают непосредственный доступ исследователя к полезному ископаемому и поэтому исследования могут быть проведены в максимальном объеме и, в случае необходимости, повторены. Кроме того, горные выработки могут быть продолжены в любом направлении.

Для целей разведки используются поверхностные и подземные горные выработки. К поверхностным выработкам относятся *расчистки, закопушки, канавы, шурфы и дудки. Расчистками* и (или) *закопушками* обнажают полезное ископаемое при мощности рыхлых отложений, перекрывающих полезное ископаемое, не более 1 м. Чаше эти выработки применяются при поисковых работах.

Канавы представляют собой горизонтальные выработки трапециевидного поперечного сечения и глубиной не более 5 м. В зависимости от назначения среди них различают *магистральные* и *прослеживающие* (собственно разведочные). Магистральные канавы служат для изучения геологического строения вмещающей толщи. Они проходятся вкрест простирания вмещающих пород и тел полезных ископаемых и имеют значительную длину (до нескольких сотен метров), вскрывая вме-

щающие породы на значительные расстояния от полезного ископаемого. Прослеживающие каналы проходятся также вкрест простирания, но их длина определяется видимой мощностью полезного ископаемого. Они располагаются на расстоянии от 20 до 50 м друг от друга. Если мощность рудного тела меньше ширины полотна канавы, то разведочные каналы ориентируют по его простиранию, прослеживая рудное тело вдоль. В этом случае длина канавы зависит от протяженности тела.

Шурфы и дудки — это вертикальные выработки прямоугольного (шурфы) или круглого (дудки) поперечного сечения. Их глубина достигает 20—30 м. Шурфы обычно проходят с креплением стенок и на большую (>10 м) глубину или в неустойчивых породах, поэтому их сечения довольно значительны — 1,5—3,5 м² и более, а дудки — в крепких устойчивых породах, поэтому их сечения, как правило, не превышают 1 м². Вертикальные поверхностные выработки предназначены для разведки верхней части полезного ископаемого, перекрытого наносами большой мощности. С этой целью из шурфов и дудок проходят небольшие горизонтальные выработки — рассечки, располагаемые как по простиранию тела полезного ископаемого, так и вкрест его.

К подземным горным выработкам относятся *шахты, квершлагги, штреки, орты, восстающие и штольни*. Разведочные шахты представляют собой вертикальные выработки прямоугольного сечения площадью от 5 до 12 м², начинающиеся у поверхности и имеющие большую глубину. Из стволов шахт проводится система горизонтальных подземных выработок, включающая *квершлагги*, проходимые диагонально или вкрест простирания пород и полезного ископаемого для полного пересечения продуктивной толщи, *штреки*, ориентированные параллельно простиранию тел полезных ископаемых, *орты*, отходящие от штреков и позволяющие получить полное пересечение рудного тела по мощности. Для прослеживания полезного ископаемого по восстанью или падению из горизонтальных выработок штреков, квершлаггов или ортов — проходят наклонные или вертикальные выработки — *восстающие* (снизу-вверх) или *уклоны и слепые стволы* (сверху-вниз).

Штольни — это горизонтальные выработки, проходимые с поверхности по простиранию тела полезных ископаемых (продольные) или вкрест его (поперечные). Они применяются в условиях гористого рельефа местности.

В зависимости от способа откатки отбитой горной массы (скреперными лебедками, рельсовым транспортом или самоходными горными машинами) и вида крепления сечения горизонтальных горных выработок колеблется от 3,5 до 7,1 м².

Скорости проходки горных выработок зависят от способа проходки, крепости и условий залегания пород, от площади сечения и вида выработки. Для поверхностных горизонтальных выработок (канав) — это сотни метров в месяц, для поверхностных вертикальных — десятки метров, подземных горизонтальных — до 100 м в месяц, для подземных вертикальных — от 15 (стволы шахт) до 40 м (восстающие). Стоимость проходки горных выработок определяется теми же факторами, что и скорость проходки, и изменяется от нескольких десятков рублей за метр для поверхностных выработок, до нескольких сотен — для подземных и даже до 1,5—2 тыс. руб. — для стволов шахт (в ценах 1985 г.).

Буровые скважины — это вертикальные, наклонные или горизонтальные выработки цилиндрического сечения небольшого (от 36 до 250 мм) диаметра и значительной (до 2—2,5 км и более) глубины.

По способу разрушения породы различают *вращательное, ударно-вращательное и ударное* бурение. При вращательном бурении порода разрушается либо по всему забою скважины (бурение сплошным забоем), либо по внешнему кольцу (колонковое бурение); во втором случае в центре скважины остается цилиндрический столбик неразрушенной породы, называемый *керном*.

Колонковое бурение является главным видом разведочного бурения, так как оно позволяет непосредственно (по керну) изучать полезное ископаемое и вмещающие породы, а в случае отбора ориентированного керна — довольно точно определять условия залегания пород даже по единичным скважинам. По виду применяемого бурового наконечника (коронки) различают алмазное, твердосплавное и дробовое колонковое бурение. Частицы разрушенной породы удаляются из забоя скважины промывочной жидкостью или сжатым воздухом. Основным показателем качества колонкового бурения считается выход керна — отношение длины полученного керна к длине пробуренного интервала, выраженное в процентах. Данные по скважинам, в которых выход керна не превышает 50—70 %, обычно в расчет не принимаются (скважины бракуются). Для подсчета запасов

по высшим категориям (А и В) учитываются данные по скважинам, в которых выход керна по полезному ископаемому составляет не менее 85—90 %.

Бурение скважин сплошным забоем может быть вращательным, ударно-вращательным и ударным. При этом виде бурения керна не получают, порода измельчается на мелкие кусочки и пыль — шлам, который выносятся на поверхность сжатым воздухом, промывочной жидкостью или удаляется из скважины специальным сосудом — желонкой. Шлам имеет смешанный состав и поступает на поверхность с некоторой задержкой — уже после проходки соответствующего интервала, поэтому определение состава пород и оценка качества полезного ископаемого в данном случае весьма затруднительны, а выявление условий залегания пород и текстурно-структурных характеристик полезного ископаемого вообще невозможно. Эти виды бурения применяются главным образом при эксплуатационной разведке для общей оценки качества полезного ископаемого в больших объемах.

Скорость и стоимость бурения разведочных скважин зависят от его вида, крепости (буримости) пород, глубины и угла наклона скважины и варьируют в широких пределах: скорость — от сотен до тысяч метров в месяц. Стоимость (в ценах 1985 г.) — от десятков до сотен рублей за метр (но она во всех случаях значительно ниже, чем стоимость проходки горных выработок в тех же условиях).

Высокие скорости проведения разведочных работ, их относительная дешевизна обусловили широкое применение бурения в качестве основного (а иногда и единственного) технического средства при разведке месторождений горючих ископаемых, строительных материалов, агрохимического сырья, черных и некоторых типов месторождений цветных металлов.

Повсеместное использование разведочного бурения в качестве главного технического средства сдерживается рядом недостатков, присущих этому виду работ.

Во-первых, небольшой объем керна часто не позволяет получить достаточное для всестороннего изучения полезного ископаемого количество вещества. Кроме того, полный выход керна — явление достаточно редкое, а какими причинами вызвано разрушение керна и на каком интервале, выяснить удастся далеко не всегда.

Во-вторых, в процессе бурения ствол скважины отклоняется от заданного направления в горизонтальной (азимутальное ис-

кривление), и в вертикальной (зенитное искривление) плоскостях.

Точно установить истинное положение его в пространстве довольно трудно. Искривления скважин вызываются как геологическими (неоднородность физических свойств горных пород, их трещиноватость, слоистость, сланцеватость), так и техническими (перекос направляющей трубы, неправильная забурка скважин, неудачно выбранный режим бурения и др.) причинами.

В-третьих, нередки случаи искажения содержания полезного компонента в керне вследствие его избирательного истирания. Если полезное ископаемое по физико-механическим свойствам и (или) текстурно-структурным особенностям разрушается в процессе бурения легче, или, наоборот, труднее вмещающих пород, то может произойти либо обеднение, либо обогащение керна полезным ископаемым по сравнению с истинным содержанием его в массиве. В тех случаях, когда степень обеднения или обогащения керна установлена, ошибка определения показателей качества по керну может учитываться с помощью поправочного коэффициента. Однако гораздо чаще удается выявить лишь общую тенденцию искажения, но не его величину.

Чтобы свести к минимуму влияние указанных недостатков бурения, скважины обязательно завершаются горными выработками. Лишь в том случае, когда доказано, что получаемая в результате бурения геологическая информация достаточно полна и достоверна, разрешается использовать буровые скважины в качестве главного технического средства разведки. В противном случае, а также тогда, когда заверочные горные работы не проводятся, разведочное бурение рассматривается в качестве вспомогательного средства для оценки общих условий и перспектив месторождения.

Геофизические работы в процессе разведки месторождений применяют для решения следующих основных задач:

- 1) выяснения общей геологической структуры района и оконтуривания перспективных участков;
- 2) изучения внутреннего строения месторождения — прослеживания и приближенного оконтуривания тел полезных ископаемых или характерных (маркирующих) пород, тектонических нарушений;
- 3) приближенного (а для урановых руд, а также некоторых типов руд меди, свинца, олова и других — точного) определения содержания полезных и вредных компонентов;

4) определения физических свойств пород и полезного ископаемого (плотность, водонасыщенность, упругие характеристики и др.);

5) исследования и контроля буровых скважин (измерение искривления — инклинометрия и каротаж).

Каротаж скважин и инклинометрия осуществляются в обязательном порядке, тогда как другие геофизические работы выполняются при наличии благоприятных условий (заметного отличия в значениях тех или иных физических свойств различных геологических образований). Под геофизическим каротажем понимаются исследования естественных и искусственных физических полей по стволу скважины. С его помощью устанавливается состав пород и уточняется положение их границ, определяется мощность полезного ископаемого и его качественные характеристики, изучаются температурный режим, водо-, газоносность и другие явления, влияющие на условия разработки месторождения. С помощью скважинных геофизических работ выявляется зенитное и азимутальное искривление скважин.

По сравнению с бурением и проходкой горных выработок стоимость геофизических работ в несколько раз меньше, а скорость их проведения в несколько раз больше. Но интерпретация геофизических данных далеко не всегда однозначна, поэтому геофизические работы используются обычно в качестве вспомогательного средства.

6.4.6. Системы разведки

Системы разведки — это комплекс технических средств, которые дают возможность с достаточной достоверностью и полнотой выяснить: форму, размеры, условия залегания, качественные характеристики полезного ископаемого, определить его количество и горнотехнические условия разработки, т.е. решить основные задачи разведки.

Выделяются три основные группы систем разведки: буровые, горные и горно-буровые.

Буровые системы применяются при разведке месторождений, обладающих устойчивыми формами, большими размерами, непрерывностью оруденения и относительно равномерным распределением показателей качества. В зависимости от геологических особенностей разведываемого месторождения используются три основных вида буровых систем: мелких вертикальных, глубоких вертикальных и наклонных скважин. В пределах каж-

дого вида название конкретных систем определяется по типу бурового оборудования, например, система мелких вертикальных скважин ударно-канатного бурения или система вертикальных скважин колонкового бурения и др.

Системы мелких вертикальных скважин предназначаются для разведки неглубоко залегающих пологих и горизонтальных плитообразных тел, характеризующихся относительно равномерным распределением качественных показателей, т.е. для разведки месторождений глин, песков, грунтовых вод, месторождений коры выветривания, сильно обводненных долинных россыпей и др.

Системы глубоких вертикальных скважин служат для разведки глубоко залегающих пологих плитообразных и крупных изометричной формы тел месторождений углей, медистых песчаников, медно-порфировых руд, соли и других неметаллических полезных ископаемых.

Системы наклонных скважин используются при разведке крутопадающих и наклонных плитообразных, а также пластовых, жило- и линзообразных тел полезных ископаемых, развитых на медноколчеданных месторождениях типа Гайского, стратиформных полиметаллических типа Миргалимсайского, геосинклинальных месторождений углей, пластовых фосфоритных типа Каратау и др.

Горные системы применяются для разведки тел полезных ископаемых, как правило, очень сложной формы, с крайне изменчивыми условиями залегания и крайне неравномерным распределением полезных компонентов. Выделяется три вида горных систем: шурфов, штолен и шахт. Внутри каждого вида отдельные системы называются по комплексу входящих в них выработок. Например, система шурфов с рассечками или система разведочных шахт с квершлагами и штреками и др.

Системы разведочных шурфов служат для разведки пологих плитообразных или небольших изометрических тел полезных ископаемых, залегающих на глубинах до 20—30 м от поверхности, т.е. для разведки месторождений кирпичных глин, каолинов, корундов, малообводненных россыпей золота, аллювиальных и делювиальных россыпей алмазов и др.

Системы разведочных штолен используются в условиях гористого рельефа для разведки самых разнообразных по формам и условиям залегания тел полезных ископаемых.

Системами разведочных шахт разведываются тела крайне изменчивых форм, условий залегания и распределения полезных

компонентов, расположенные относительно глубоко от поверхности. Чаще всего это месторождения редких и драгоценных металлов и минералов.

Разведка большинства месторождений черных, цветных, редких и драгоценных металлов и многих месторождений неметаллических полезных ископаемых проводится с помощью горно-буровых систем. В зависимости от степени изменчивости свойств полезного ископаемого в одних системах преобладают буровые скважины, в других — горные выработки. Наибольшим распространением пользуются два вида систем: разведочных штолен и буровых скважин; разведочных шахт и буровых скважин.

Как и в предыдущих случаях, конкретные системы называются по виду составляющих их выработок. Например, система разведки шахтой с квершлагами, штреками и буровыми поверхностными и подземными скважинами. Общие условия применения горно-буровых систем те же, что и горных — с их помощью разрабатываются тела сложной формы, значительных размеров, с изменчивыми условиями залегания и неравномерным распределением полезных компонентов, но залегающие на больших глубинах.

Итак, выбор той или иной системы разведки определяется главным образом геологическими факторами. Однако на комплекс используемых технических средств могут оказывать влияние и географо-экономические условия района: рельеф, климат, транспортные возможности и др.

6.4.7. Расположение разведочных выработок

Система геологических разрезов создается на основе анализа геологической документации разведочных выработок, поэтому эти выработки должны располагаться в определенном порядке, обеспечивающем достаточно правильное представление о форме, строении и особенностях распределения качественных показателей полезного ископаемого.

В соответствии с принципом полноты исследования разведочные выработки должны полностью пересекать тело полезного ископаемого, что позволит получить данные о морфологических и качественных особенностях этого тела на всем его протяжении в данном направлении. С помощью построения разрезов через соседние выработки можно уже осветить некоторый объем месторождения или отдельного тела полезного

ископаемого. Точность разреза будет тем выше, чем ближе к его плоскости будут размещаться разведочные выработки, так как построение разреза путем проекций на его плоскость всегда чревато ошибками, особенно в случае сложного залегания и изменчивой морфологии тел. Отсюда вытекает *первое правило: разведочные выработки должны располагаться по возможности в плоскости намечаемого разреза.*

Назначение разрезов состоит в том, чтобы с максимальной полнотой осветить форму, элементы залегания, внутреннее строение полезного ископаемого и его взаимоотношения с вмещающими породами. Очевидно, что наилучшим образом это может быть достигнуто тогда, когда направление разреза совпадает с направлением наиболее резкого изменения свойств полезного ископаемого. Это утверждение справедливо и в отношении отдельных выработок. Из этого следует *второе правило: разведочные разрезы (и отдельные разведочные выработки) должны быть ориентированы по направлению максимальной изменчивости свойств полезного ископаемого.*

Чаще всего изменчивость свойств полезного ископаемого наименьшая по простиранию тел, поэтому *третье правило* может быть сформулировано так: *плоскости разведочных разрезов должны быть ориентированы поперек направления простирания тела полезного ископаемого.*

В том случае, когда тела полезного ископаемого имеют изометричную форму и не обладают закономерной изменчивостью свойств в каком-либо направлении, то ориентировка разрезов определяется техническими соображениями. В этом случае правильнее говорить не об ориентировке разрезов, а о расположении выработок по площади месторождения, т.е. о сети выработок.

Размещение выработок по сетке возможно и тогда, когда тело полезного ископаемого характеризуется выраженной анизотропией формы или свойств, только в этом случае сетка тоже будет анизотропной.

Таким образом, существует два способа расположения разведочных выработок: по линиям (разрезам, профилям) и по сетке. При расположении по сетке разведочные выработки помещаются в ее узлах. По форме сетка может быть квадратной, прямоугольной или ромбической (треугольной). Пересечение линий, проведенных через ее узлы, образует систему пересекающихся разрезов, чем достигается объемная характеристика тела полезного ископаемого.

Необходимо иметь в виду, что термин «разведочная сеть» подразумевает любое регулярное расположение разведочных выработок, т.е. не только по геометрически правильной сетке, но и по линиям (профилям). Нерегулярное размещение разведочных выработок допускается только в отдельных участках при очень резких отклонениях от общей закономерности каких-либо параметров месторождения (мощности, условий залегания, распределения полезных компонентов и др.) для уточнения этих аномальных явлений.

Выбор той или иной формы разведочной сети обусловлен морфологическим типом тела полезного ископаемого, поскольку для каждого из них требуется различный подход к разведке, в частности, разная ориентировка разрезов.

Напомним, что по соотношению размеров выделяются тела трех морфологических типов: изометричные, плито- и трубообразные.

Изометричные тела (штокверки, гнезда и др.), обладающие близкими размерами во всех трех измерениях, обычно разведываются по квадратной или треугольной сетке, чтобы можно было построить систему разноориентированных пересекающихся разрезов.

Плитообразные тела (пласты и пластообразные залежи, жилы, линзы и др.) наиболее распространены в природе. Разведка их определяется условиями залегания и очертаниями в плане или в проекции на плоскость, параллельную падению тела. При горизонтальном или пологом залегании тела полезного ископаемого может применяться сетка любой формы: квадратная, прямоугольная или ромбическая. В случае крутого падения тела разведка осуществляется профилями (линиями), ориентированными перпендикулярно его простиранию. Положение профилей и выработок на профиле выбирается с таким расчетом, чтобы точки пересечения выработками полезного ископаемого составили в плоскости тела правильную сеть (рис. 6.2).

Трубообразные тела (рудные столбы, трубы, вытянутые штоки) разведываются системой разрезов, ориентировка которых зависит от положения тела полезного ископаемого в пространстве. Горизонтальные или пологие трубы рассекаются вертикальными разведочными разрезами вкрест простирания (точнее, протяжения) тел, так как максимальная изменчивость их свойств чаще всего наблюдается в поперечном направлении. Крутопадающие трубы разведываются горизонтальными разрезами.

Итак, расположение разведочных выработок определяется формой, условиями залегания и изменчивостью свойств полезного ископаемого. Для количественной характеристики размещения разведочных выработок по площади месторождения пользуются понятием *параметры разведочной сети*. Это понятие включает в себя три характеристики: глубину разведки, плотность и густоту разведочной сети.

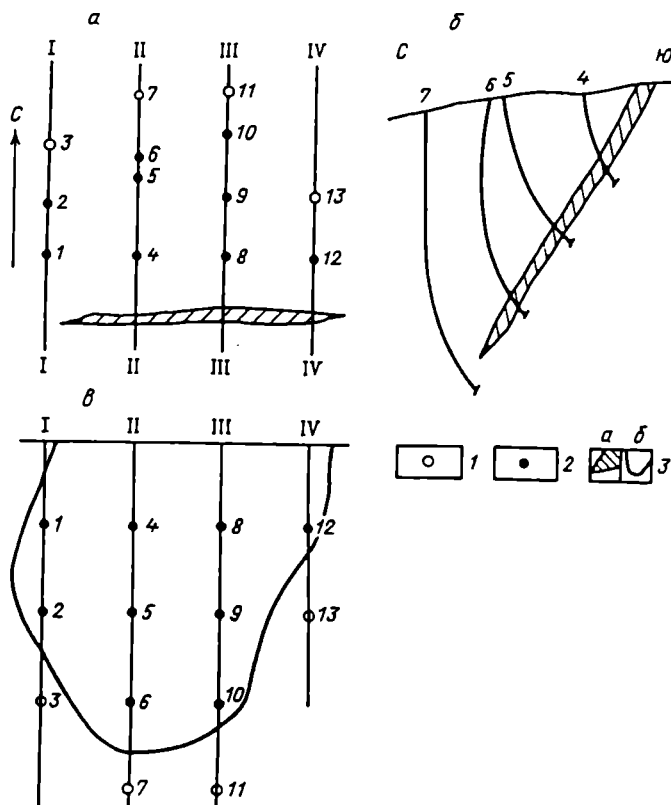


Рис. 6.2. Схема разведки плитообразного тела (жила):
 а — план; б — разрез по линии II—III; в — проекция на наклонную плоскость, параллельную падению жилы;
 1—2 — скважины: 1 — не встретившие полезное ископаемое, 2 — пересечение рудного тела; 3 — рудное тело (а) и его контур в проекции (б)

Глубина разведки показывает, на какое расстояние от поверхности вскрыто разведочными выработками полезное ископаемое. Она обусловлена, с одной стороны, глубиной распространения полезного ископаемого, с другой, если полезное ископаемое простирается на очень большие глубины, — технико-экономическими соображениями. В последнем случае глубина разведки устанавливается заранее исходя из сроков отработки месторождения по падению или технических возможностей применяемого оборудования.

Плотность разведочной сети S_0 выражается отношением всей площади месторождения S к числу разведочных выработок n , полностью пересекших полезное ископаемое, т.е. $S_0 = S/n$.

В практике геологоразведочного дела для количественной характеристики разведочной сети чаще используют понятие *густота разведочной сети* — т.е. расстояние между выработками, выраженное в метрах, например, 100×50 м; первая цифра обычно соответствует расстоянию между соседними выработками по простиранию тела, вторая — по падению. При разведке профилями указывается расстояние между профилями (первая цифра) и расстояние между выработками в профиле (вторая цифра).

Все параметры разведочной сети должны отвечать следующим основным требованиям:

- 1) общее число выработок и глубина разведки должны быть минимально необходимыми;
- 2) в каждом разведочном разрезе тело полезного ископаемого должно быть пересечено в нескольких (минимум в двух) точках (требование «перекрытого пересечения»).

Необходимость соблюдения первого требования диктуется главным образом экономическими соображениями и соответствует принципам наименьших материальных и трудовых затрат и наименьших затрат времени.

Несоблюдение требования перекрытого пересечения ведет к неверному или недостаточно полному определению формы, условий залегания и качества полезного ископаемого.

Так, при разведке месторождения цементного сырья — известняка, погребенного под наносами небольшой мощности, использовалась система вертикальных буровых скважин (рис. 6.3), каждая из которых только один раз пересекала пласт известняка или глины, т.е. разрез получается не перекрытым. В

результате, качество сырья определялось только в одном пересечении и судить о характере его распределения по простиранию каждого пласта невозможно. Следовало применить систему наклонных скважин. В этом случае качество и условия залегания полезного ископаемого характеризуются достаточно полно. Использование такой системы несколько удорожает разведку, но достоверность и полнота полученной информации с избытком окупают незначительное увеличение затрат.

На параметры разведочной сети влияют:

1) степень и характер изменчивости полезного ископаемого;

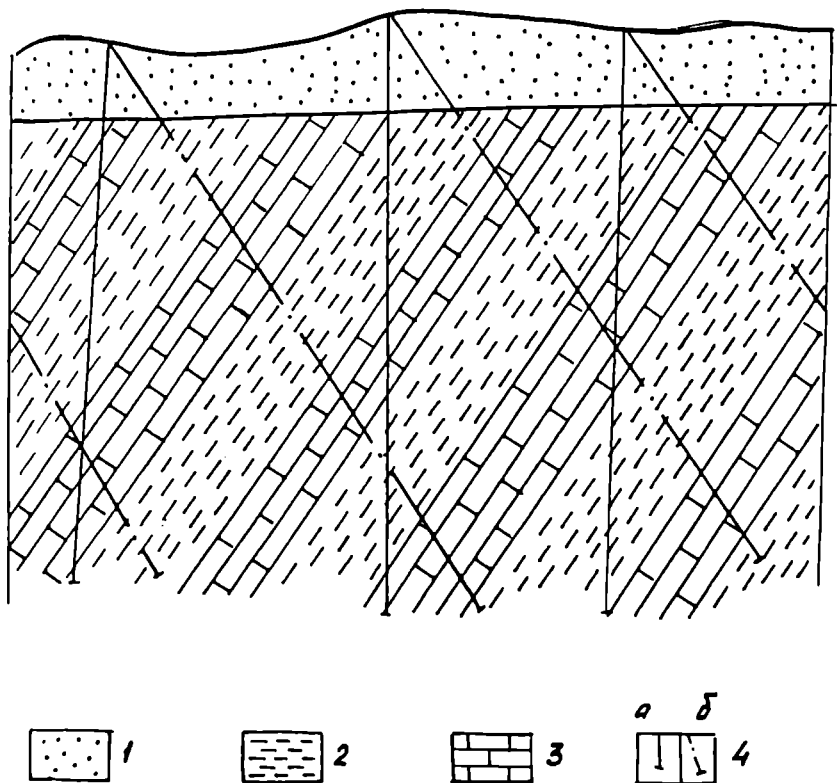


Рис. 6.3. Пример создания перекрытого сечения:

1 — насосы; 2 — глины; 3 — известняки; 4 — неправильная (а) — не дающая возможности получить перекрытое сечение и правильная (б) ориентировка скважин

- 2) размеры тела полезного ископаемого;
- 3) тип применяемых разведочных выработок;
- 4) стадия разведки.

Значение первого фактора очевидно — чем больше и сложнее изменчивость распределения полезного компонента, мощности, условий залегания, тем плотнее должна быть разведочная сеть.

Влияние размеров тела полезного ископаемого сказывается главным образом при разведке небольших тел. В таких случаях на первый план выступают требования точности расчета средних величин показателей, для чего могут потребоваться расстояния между выработками меньшие, чем это понадобилось бы для характеристики собственно геологических условий месторождения. Например, размеры тела меньше, чем необходимая густота разведочной сети, но для выполнения требования перекрытого разреза нужно не менее двух выработок. Следовательно, фактическое расстояние между выработками будет меньше, чем принятые параметры.

Зависимость от третьего фактора обусловлена достоверностью разведочных данных, получаемых техническими средствами различного типа. Так, при разведке горными выработками расстояния между ними будут больше, а плотность или густота соответственно меньше, чем при разведке буровыми скважинами.

Параметры разведочной сети должны соответствовать детальности решения поставленных задач, поэтому на стадии предварительной разведки, когда требуется общая приближенная оценка месторождения, расстояния между выработками будут значительно больше, чем на стадии детальной разведки, в задачи которой входит точное и полное определение всех характеристик месторождения.

Оптимальные параметры разведочной сети выявляются несколькими способами: аналогий, экспериментальным и аналитическим.

Способ аналогий заключается в применении уже апробированной на другом месторождении разведочной сети, если разведываемое месторождение обладает близкими к эталонному характеристиками. На способе аналогий основаны и специальные инструкции, рекомендуемые определенные сети выработок и технические средства для разных стадий разведки определенных типов месторождений.

Экспериментальный способ выявления параметров разведочной сети имеет две модификации. Первая основывается на сравнении параметров месторождения, установленных по данным различных вариантов все более редкой сети, с результатами, полученными при эксплуатации или при заведомо переуплотненной разведочной сети. По мере увеличения расстояний между разведочными выработками, принимаемыми в расчет, ошибка в оценке величины показателей месторождения тоже растет. В итоге выбирается такая плотность разведочной сети, которая при наибольших расстояниях между выработками дает достаточно точные значения сравниваемых показателей месторождения. Результаты расчетов используются на том же месторождении, если оно продолжает разведываться, или на других аналогичных объектах. Этот способ, очень широко применяющийся в практике геологоразведочных работ, получил название *способа разрежения*.

Вторая модификация экспериментального способа определения параметров разведочной сети построена на том же принципе разрежения, но эталоном служит искусственная модель. Модель может быть как физическая (из гипса, глины и других материалов), так и математическая. Выводы о рациональности параметров разведочной сети для месторождения с моделируемыми свойствами распространяются на подобные месторождения.

Аналитические способы расчета параметров разведочной сети базируются на применении математической статистики, теории вероятностей и других математических методов оценки степени изменчивости различных показателей полезного ископаемого. Широкое использование этих способов сдерживается в настоящее время тем, что пока не установлены количественные закономерности изменчивости свойств полезного ископаемого в зависимости от условий образования и факторов локализации оруденения.

В настоящее время многие научно-исследовательские организации работают над вопросами применения математических методов и ЭВМ в геологоразведочном деле, так как от того, насколько правильно определены параметры разведочной сети, зависят сроки, стоимость и, главное, достоверность разведочных данных.

6.4.8. Опробование

Опробование — практически единственный способ изучения качественных показателей полезного ископаемого. В боль-

шинстве случаев оно представляет собой последовательный трехстадийный процесс: отбор, обработку и исследование проб.

Первая стадия заключается в отделении от массива тем или иным способом некоторой порции — пробы — полезного ископаемого или породы, качественные показатели которых изучаются.

Вторая стадия (обработка проб) промежуточная. Ее назначение — подготовка пробы к дальнейшим исследованиям, испытаниям, анализам.

Задача третьей стадии — получить количественное значение изучаемого показателя качества. Исследования вещества проб, которыми занимаются специальные лаборатории, не являются (за исключением минералого-петрографических исследований) предметом наук геологического цикла, поэтому в данном курсе не рассматриваются.

В соответствии с назначением выделяются следующие основные виды опробования:

1) химическое (определение химического — элементного и фазового — состава полезного ископаемого);

2) минералогическое (определение минерального состава полезного ископаемого и вмещающих пород);

3) технологическое (исследование обогатимости полезного ископаемого);

4) техническое определение физических и горнотехнических свойств полезного ископаемого и вмещающих пород — плотности, влажности, пористости, сопротивления сжатию, разрыву и сдвигу, абразивности, буримости и др.);

5) геофизическое (исследование физических свойств полезного ископаемого и вмещающих пород и на этой основе определение содержания полезных и вредных компонентов и других показателей качества).

Основные цели разведочного опробования таковы:

1) характеристика качества полезного ископаемого и закономерностей его распределения в объеме месторождения или тела;

2) определение количества полезных компонентов (подсчет запасов компонентов);

3) выявление физико-механических свойств полезного ископаемого и вмещающих пород для оценки горнотехнических условий разработки месторождения.

Для достижения этих целей и успешного решения задач разведки опробование должно отвечать следующим *основным прин-*

ципам. Оно должно быть *представительным, равномерным*, а *число проб — минимальным*.

Опробование считается *представительным*, если, во-первых, установленные по данным всей системы опробования особенности распределения показателей качества соответствуют их истинному распределению в объеме месторождения, а во-вторых, значения показателей качества каждой отдельной пробы отвечают их значениям в пределах объема, характеризуемого этой пробой.

Первое положение этого принципа имеет геологический смысл. Оно означает, что расположение пунктов опробования должно соответствовать морфологическим, структурным, литолого-петрографическим особенностям полезного ископаемого и учитывать степень и характер его изменчивости. Второе положение принципа представительности обусловлено кроме геологических еще и технико-экономическими соображениями: размеры каждой пробы должны быть минимально необходимыми, так как увеличение массы пробы в арифметической прогрессии вызывает увеличение стоимости ее обработки в геометрической прогрессии.

Принцип равномерности опробования согласуется с принципом равномерности (равной достоверности) разведки. Пробы должны располагаться равномерно по площади и мощности тела полезного ископаемого, но, конечно, с учетом анизотропии его свойств.

Способы отбора проб определяются главным образом назначением опробования и видом опробуемой выработки. Наиболее употребительными являются следующие способы отбора проб: *штуфной, точечный, бороздовый, задирковый, валовый, керновый, шламовый*.

При штуфном способе от массива отделяется (откалывается или выпиливается) отдельный кусок или блок (штуф) породы или полезного ископаемого массой от 0,2—0,5 до 10—15 кг и более. Этот способ используется при минералогических и технических исследованиях.

Точечный способ отбора проб заключается в следующем. На обнажение полезного ископаемого или навал отбитой горной массы накладывается реальная или воображаемая сетка с квадратной или прямоугольной формой ячеек. Из узлов ячеек или из их центров откалываются (отбираются) небольшие кусочки полезного ископаемого (частичные пробы), которые вместе со-

ставляют начальную пробу. При опробовании точечным способом навала разрыхленной горной массы в забое, отвалах или транспортных емкостях этот способ называется *горстьевым*, или *вычерпывания*.

При бороздовом способе отбора проб на обнаженной поверхности тела полезного ископаемого вручную (зубилом и молотком) или с помощью механического пробоотборника режущего типа с электрическим или пневматическим приводом выбивается или вырезается канавка — борозда — прямоугольного, треугольного или трапецевидного поперечного сечения. Этот способ является самым распространенным как при разведке, так и при разработке месторождений различных видов (главным образом металлических) полезных ископаемых. Размеры поперечного сечения (ширина и глубина) прямоугольных борозд зависят от степени равномерности распределения оруденения и мощности рудного тела (табл. 6.2.).

Таблица 6.2

Примерные сечения борозд (в см)
при опробовании рудных месторождений

Характер оруденения	Мощность рудных тел, м		
	2,5—2	2,5—2 до 0,8—0,5	0,5
Весьма равномерный и равномерный	5×2	6×2	10×2
Неравномерный	8×2,5	9×2,5	10×2,5
Весьма и крайне неравномерный	8×3	10×3	12×3

В процессе детальной разведки и особенно эксплуатации, когда отбирается очень большое число проб и допустимо некоторое снижение точности определения показателей качества в каждой из них, ради сокращения затрат на опробование и облегчение обработки проб допускается либо уменьшение сечения борозд, либо даже применение так называемой «пунктирной борозды» (по линии определенного направления и размера отбивается серия кусочков полезного ископаемого, которые и составляют пробу). Следует заметить, что пунктирная борозда дает результаты довольно низкой точности, поэтому, несмотря на высокую производительность и малую стоимость этого способа опробования, использование его оправдано лишь при эксплуатации месторождений с хорошо изученным и относительно равномерным распределением полезных компонентов.

При опробовании угольных месторождений размер борозды варьирует от $(10-16) \times (3-5)$ см для однородных углей до $(25-30) \times (3-5)$ см для углей сложного и неустойчивого петрографического состава. На россыпях и месторождениях многих нерудных полезных ископаемых (цементное сырье, кирпичные глины, песчано-гравийные смеси и др.) применяются борозды сечением $(25-30) \times (10-20)$ см.

Борозды располагаются перпендикулярно мощности рудного тела и в пределах одного минерального или промышленного типа полезного ископаемого. В случае очень большой мощности или сложного строения полезное ископаемое опробуется секциями длиной 0,7—1,5 м (рис. 6.4). Каждая секция затем обрабатывается и анализируется как отдельная самостоятельная проба.

Задирковый способ отбора проб заключается в том, что с обнаженной поверхности полезного ископаемого по всей площади сдирается тонкий (обычно не более 2—5 мм) слой полезного ископаемого. Этот способ используется только в случае крайне неравномерного распределения полезных компонентов и малой мощности полезного ископаемого или в качестве контрольного для бороздового и точечного опробования.

При *валовом способе* в пробу отбирается либо вся горная масса, полученная при проходке данного интервала разведочной выработки по полезному ископаемому, либо какая-то часть, например, каждая вторая, третья, пятая (и др.) лопата, вагонетка, ковш и др. Масса валовой пробы может достигать нескольких тонн, поэтому данный способ опробования предназна-

значен главным образом для проведения технологических исследований или для контроля других способов опробования, а также при разведке россыпных месторождений драгоценных металлов и алмаза.

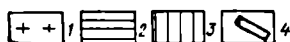
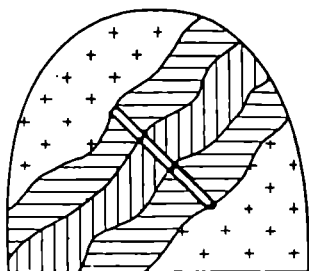


Рис. 6.4. Расположение бороздовых проб (борозд) при опробовании сложного по составу рудного тела:

1 — вмещающие породы; 2—3 — руды: 2 — галенитовые, 3 — сфалеритовые; 4 — борозды

Керновое опробование проводится следующим образом. Керн буровой скважины раскалывается вдоль длинной оси. Одна половина его идет на пробу, вторая остается для контроля и минералогических исследований. Если диаметр керна недостаточен для того, чтобы из его половинки была получена представительная проба, то отбирается весь керн. Этот способ опробования применяется при разведке всех видов полезных ископаемых.

При *шламовом способе отбора* в пробу поступают кусочки породы или руды и пыль (шлам), образующиеся при бурении шпуров и скважин. Иногда при низком выходе керна этот способ дополняет керновый.

Помимо упомянутых основных способов опробования существует несколько путей определения качества полезного ископаемого без отбора отдельных проб. К ним относятся геофизические способы опробования и визуальное (определение содержания полезного компонента «на глаз»). В этих случаях используются различные свойства полезного ископаемого, отличающие его от вмещающих пород.

Геофизическое опробование в последние годы быстро развивается и находит все более широкое применение. В дополнение к таким широко известным способам геофизического опробования, как магнито- (определение содержания железа в магнетитовых рудах) и радиометрия (определение содержания урана и тория путем измерения уровня естественной радиоактивности) добавляется значительная группа ядерно-физических методов, среди которых выделяется два типа: гамма-методы, основанные на измерении искусственных (наведенных) источников гамма-излучения, и нейтронные, регистрирующие интенсивность нейтронного или связанного с ним гамма-излучения. С помощью ядерно-физического опробования возможно определение содержания железа, свинца, ртути, вольфрама, сурьмы, бария, цинка, молибдена, висмута, олова, хрома, никеля, марганца, меди, алюминия, бериллия и других компонентов во многих (но, к сожалению, не во всех) типах руд.

Фотоопробование заключается в фотографировании обнажения (забоя или стенки выработки) и подсчете площадей, занятых полезным минералом. Этот способ опробования дает положительные результаты, если по оптическим свойствам полезное ископаемое достаточно резко отличается от вмещающих пород. В таких случаях может применяться и визуальное опро-

бование, с помощью которого при достаточном опыте наблюдателя могут быть получены довольно точные результаты.

Следует отметить, что фотоопробование и визуальное опробование носят вспомогательный характер для приближенной оценки качества полезного ископаемого, так как их точность (особенно визуального опробования) зависит от многих субъективных факторов.

Выбор способа опробования обусловлен двумя группами факторов: геологическими и общими. Главными являются геологические факторы, а именно, промышленный тип месторождения, текстурно-структурные характеристики полезного ископаемого, тип распределения полезных компонентов в руде, размер рудных тел, их мощность и крупность полезного ископаемого. Массивные и равномерно-вкрапленные руды значительной мощности могут опробоваться любым способом, но предпочтительно применение шламового или точечного опробования. Полосчатые, прожилковые и неравномерно-вкрапленные полезные ископаемые рациональнее опробовать бороздовым способом при ориентировке борозды перпендикулярно полосчатости. Крепкие и весьма крепкие полезные ископаемые опробуются либо шламовым (если распределение полезных компонентов относительно равномерное), либо точечным и задирковым способами, так как в подобных полезных ископаемых выбивать правильную борозду очень трудно.

Среди *общих факторов*, влияющих на выбор способа опробования, следует выделить следующие: задачи опробования, объем работ и применяемые системы разработки (при опробовании эксплуатируемых месторождений). Задачи опробования иногда являются решающим фактором. Так, для определения физико-механических свойств полезного ископаемого иного способа, чем штучной (выпиливание правильных кубиков), применить нельзя, а для оценки технологических свойств полезного ископаемого требуется большое количество материала, следовательно, необходимо проводить валовое опробование и др.

Объем работ по отбору проб также может иметь важное значение при выборе способа опробования. Если отбирается сравнительно небольшое число проб, то следует использовать, невзирая на трудоемкость, способы опробования, обеспечивающие максимальную достоверность результатов. Напротив, при больших объемах работ по опробованию предпочтение отдается наиболее простым и дешевым способам отбора проб в

ущерб высокой точности результатов по каждой пробе (например, пунктирная борозда вместо обычной).

Влияние применяемых систем разработки при выборе способа опробования сказывается преимущественно в возможности и длительности присутствия людей в выработанном пространстве (если доступ в очистное пространство свободный, то можно применять любой способ опробования, если нет — шламовый или керновый), т.е. в доступности полезного ископаемого для взятия пробы.

Правильность определения качественных особенностей полезного ископаемого обусловлена не только способом опробования, но и параметрами его сети. В этом вопросе главными являются геологические факторы — неравномерность распределения полезного компонента и изменчивость формы тел. Рациональные расстояния между пробами, подтвержденные большим опытом разведки, приводит В.М. Крейтер (табл. 6.3).

Таблица 6.3

Расстояния между пробами (по простиранию)
на месторождениях разных типов

Характер распределения компонентов	Месторождения	Расстояния, м
Равномерный (коэффициент вариации 5—40 %)	Простые углей, горючих сланцев, строительных материалов, флюсов, цементного сырья, серы, каменных и калийных солей, некоторых железных и марганцевых руд, глин, каолинов и др.	50—6
Неравномерный (40—100 %)	Гидротермальные медных и полиметаллических руд, скарновые золоторудные, вольфрамовые, молибденовые	6—4
Весьма неравномерный (100—150 %)	Некоторые полиметаллические, большинство оловорудных, вольфрамовых, молибденовых, многие золоторудные	4—2,5
Крайне неравномерный (коэффициент вариации > 150 %)	Многие редких металлов, золоторудные, платиновые	2,5—2

Почти при всех видах опробования *после отбора проб проводится их обработка*. При минералогическом опробовании обработка заключается в изготовлении прозрачных и полированных шлифов для изучения полезного ископаемого оптическими методами или же в дроблении вещества проб для исследования минерального состава под биноклем.

Обработка проб технического опробования зависит от конкретного назначения этого вида опробования. Для выявления физико-механических свойств и средней плотности — это распиловка отобранных штуфов на правильные геометрические фигуры: кубики, балочки, а для оценки качества промышленного сырья — сортировка, рассеивание, отмывка и др.

Наиболее сложна обработка проб для химического анализа, особенно многокомпонентных (комплексных) руд. Для собственно анализа достаточно обычно 50—200 г вещества, а начальная масса представительной пробы превышает 3—5 кг. Кроме того, полезные компоненты неравномерно распределены в массе пробы, а полезные минералы находятся в сростках с жильными. Поэтому обработка химических проб выполняется с целью, во-первых, отделения (раскрытия) рудных минералов от жильных и, во-вторых, обеспечения равномерности, гомогенности вещества пробы с тем, чтобы содержание компонентов в лабораторной навеске было таким же, как и в исходной пробе. Эта цель достигается рядом последовательных повторяющихся циклов измельчения, перемешивания и сокращения исходного материала пробы. Степень сокращения пробы в конце каждого такого цикла определяется размером частиц (степенью дробления или измельчения) и степенью неравномерности распределения компонентов. Наиболее употребительной формулой для расчета необходимой массы пробы после очередного этапа дробления и перемешивания (и, тем самым, возможной степени сокращения начальной массы) является формула Г.О. Чечотта:

$$Q = k \cdot d^2,$$

где Q — масса пробы после сокращения, кг; d — диаметр частиц максимальной фракции, мм; k — коэффициент, зависящий от степени неравномерности распределения компонентов. Для различных полезных ископаемых его значение меняется от 0,05 до 1.

На основе этой формулы составляется схема обработки пробы, в которой указываются число этапов дробления, измельчения и истирания материала пробы, количество и степень сокращения на каждом этапе измельчения.

6.4.9. Оконтуривание тел полезных ископаемых

Оконтуривание — это процесс ограничения тела полезного ископаемого в пространстве. Данный процесс включает обычно две процедуры: определение положения опорных точек и соедине-

ние последних линий, которая и называется контуром. Оконтуривание тел полезных ископаемых проводится на графических материалах: планах, разрезах, проекциях и блок-диаграммах.

Выделяются две основные группы контуров — естественные, обусловленные природными причинами, и искусственные. К естественным контурам относятся следующие: нулевой, представляющий собой линию полного выклинивания тела полезного ископаемого или ограничивающий область, в пределах которой полезный компонент отсутствует. *Сортовой*, разграничивающий минеральные типы или промышленные сорта полезного ископаемого.

Искусственные контуры, безусловно, связаны с естественными, но они проводятся чаще всего по формальным признакам. Искусственными являются контуры балансовых и забалансовых запасов, категорий запасов, шахтного поля и др. Положение естественных контуров не меняется во времени и пространстве, оно может только уточняться в результате получения дополнительных данных, а искусственных — зависит не только от объема наших знаний о теле полезного ископаемого, но и от различных причин технико-экономического и организационного характера. Например, при пересмотре кондиций (вследствие внедрения более прогрессивной технологии переработки руд или по другим причинам) понизилось предельное содержание полезного компонента в промышленных рудах, в результате и контур балансовых руд может «отодвинуться» на значительное расстояние, другой пример — по итогам проведения дополнительной разведки запасы категории В переведены в категорию А, что вызвало изменение контуров запасов этих категорий, тогда как естественные границы тела полезного ископаемого и в том, и в другом случае остались неизменными.

В зависимости от применяемых способов оконтуривания все группы контуров объединяются в два вида: *внутренние* и *внешние*. *Внутренние* проводятся строго через выработки, пересекающие полезное ископаемое и, как правило, являются искусственными, а *внешние* — между такими выработками или за их пределами и могут быть как искусственными, так и естественными.

Способ оконтуривания тела полезного ископаемого определяется его морфологическим типом и условиями залегания. Плиткообразные тела при пологом падении оконтуриваются в плане, при крутом — в проекции на вертикальную плоскость,

при наклонном — в проекциях на вертикальную и горизонтальную плоскости или в проекции на наклонную плоскость, параллельную падению тела. Оконтурирование трубообразных тел проводится также в проекции на вертикальную или горизонтальную плоскость, а изометричных — обычно в проекции на горизонтальную плоскость. Тела всех морфологических типов оконтуриваются на разрезах и блок-диаграммах.

В порядке убывания точности построения контуров различают *три способа оконтуривания: непрерывного прослеживания, интерполяции и экстраполяции.*

Непрерывное прослеживание контактов выполняется в тех случаях, когда мощность тела полезного ископаемого меньше размеров прослеживающей выработки (штрека, восстающего, канавы и др.) или же эта выработка проходит непосредственно по контакту тела полезного ископаемого с вмещающими породами. Обычно с помощью этого способа удастся построить только часть контура тела полезного ископаемого.

Интерполяция заключается в проведении контура через непосредственно установленные точки контакта полезного ископаемого с вмещающими породами (на разрезах) или через точки пересечения разведочными выработками полезного ископаемого (при построении контура на проекциях — рис. 6.5).

Экстраполяция представляет собой оконтуривание за пределами выработок, встретивших полезное ископаемое, т.е. данным способом отстраивается только внешний контур (см. рис. 6.5). Существует *два вида экстраполяции: ограниченная и неограниченная.* *Ограниченная экстраполяция* — это проведение контура между выработками, одна из которых пересекла полезное ископаемое, а другая — нет. Конкретное положение опорной точки и, следовательно, контура определяется либо по формальным признакам — на половину, треть, четверть расстояния между этими выработками, либо на основании геологических закономерностей.

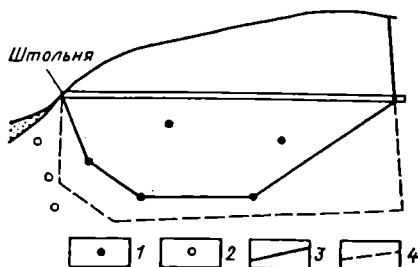
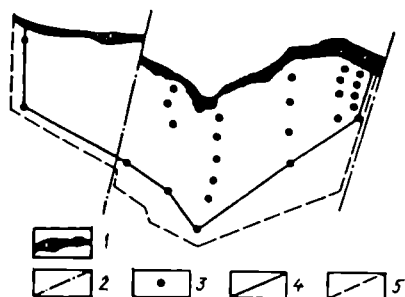


Рис. 6.5. Оконтуривание крутопадающего тела в проекции на вертикальную плоскость (по В.М. Крейтеру):

1—2 — точки пересечения скважин с плоскостью проекции: 1 — пересекших рудное тело, 2 — не встретивших полезное ископаемое; 3—4 — линии контуров: 3 — внутреннего, 4 — внешнего

Рис. 6.6. Проведение внешнего контура по тектоническому нарушению (по В.И. Смирнову с изменениями):

1 — выход полезного ископаемого на поверхность; 2 — линии разрывных нарушений; 3 — скважины, пересекающие рудное тело; 4—5 — линии контуров: 4 — внутреннего, 5 — внешнего



При неограниченной экстраполяции контур отстраивают за пределами выработок, подсекших полезное ископаемое, т.е. в этом случае установленных пределов экстраполяции нет, но положение опорных точек контура, как и при ограниченной экстраполяции, выявляется либо по формальным признакам — на четверть, половину, целое, удвоенное или другое расстояние между разведочными выработками, либо по геологическим признакам. Естественно, наиболее достоверным будет положение контура тогда, когда определение пределов экстраполяции основывалось на геологических закономерностях.

Наиболее часто встречаются следующие приемы проведения внешнего контура с использованием геологических закономерностей.

1. По границе различных фаций — довольно типичный способ для месторождений осадочного происхождения; например, для полезных ископаемых, связанных с осадками шельфовой зоны — по границе распространения этих осадков.

2. По границе «благоприятных» пород; данный прием широко применяется для эпигенетических месторождений, например, проведение контура по границе пород непроницаемых для гидротермальных растворов.

3. По тектоническому нарушению, смещающему или ограничивающему тело полезного ископаемого (рис. 6.6).

4. По естественному плавному выклиниванию залежи полезного ископаемого; этот способ дает хорошие результаты при оконтуривании линзовидных тел полезных ископаемых. В таком случае положение внешнего контура может быть выявлено построением: либо по углу естественного выклинивания, либо по изолиниям мощности полезного ископаемого (рис. 6.7).

Внешний контур отстраивается способом неограниченной экстраполяции с использованием формальных приемов в тех

случаях, когда нет сколько-нибудь убедительных данных о границах распространения продуктивной зоны (площади) за пределами участка, освещенного разведочными выработками. В такой ситуации его положение зависит от размеров тела полезного ископаемого и параметров разведочной сети. Наиболее часто применяются формальные приемы неограниченной экстраполяции, при которых внешний контур проводится следующим образом:

1) параллельно внутреннему на расстоянии, кратном расстоянию между разведочными выработками (предел экстраполяции устанавливается в зависимости от степени изученности месторождения в соответствии с изменчивостью формы тел полезных ископаемых);

2) в зависимости от линейных размеров тела полезного ископаемого (правило «полотна») в виде треугольника или прямоугольника, высота которого равна $1/2$ длины или целой длине выхода тела на поверхность;

3) по поверхности конуса или полусферы (для изометричных тел), основание которых составляет площадь сечения тела полезного ископаемого, ограниченную внутренним контуром, а высота равна половине среднего поперечного размера тела.

Контур тела полезного ископаемого в различных его участ-

ках может быть получен различными способами, иначе говоря, каждый из перечисленных приемов позволяет построить контур как всего тела полезного ископаемого (см. рис. 6.5—6.7), так и его частей (рис. 6.8).

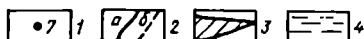
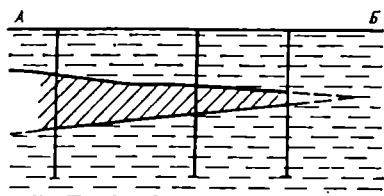
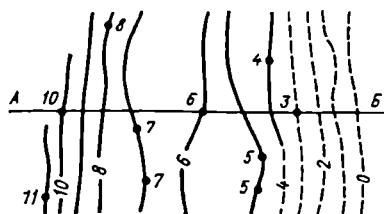
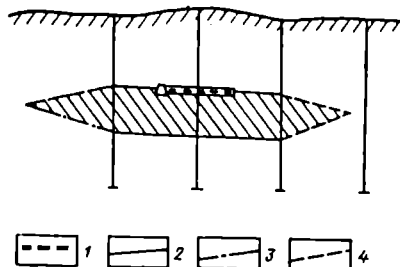


Рис. 6.7. Проведение внешнего контура по изолиниям мощности (по В.И. Смирнову):

1 — скважины, пересечение рудное тело, его мощность, м; 2 — изолинии мощности, построенные по результатам интерполяции (а) и экстраполяции (б); 3 — рудное тело; 4 — вмещающие породы

Рис. 6.8. Проведение контура тела полезного ископаемого с использованием разных приемов:

1 — непрерывного прослеживания контактов; 2 — интерполяции; 3 — неограниченной экстраполяции; 4 — ограниченной экстраполяции



6.4.10. Гидрогеологические и инженерно-геологические исследования в процессе разведки

Для передачи месторождения полезных ископаемых в промышленное освоение в процессе разведки должны быть изучены горнотехнические условия его разработки, т.е. выяснены гидрогеологические и инженерно-геологические особенности месторождения. Для решения этого круга задач, как правило, используются те же разведочные выработки, что и для изучения геологического строения месторождения, специальные выработки проходятся крайне редко.

Состав и задачи гидрогеологических исследований не зависят от сложности гидрогеологических условий месторождений и стадии их разведки. Начиная со стадии поисково-оценочных работ и вплоть до детальной разведки изучаются следующие параметры:

1) площади распространения водоносных горизонтов и комплексов;

2) условия залегания водоносных горизонтов;

3) области, условия питания, режимы, химический состав и бактериологические свойства подземных и поверхностных вод.

Основные задачи гидрогеологических исследований заключаются в определении:

1) характера взаимосвязи подземных и поверхностных вод;

2) водообильности и водопроницаемости пород;

3) величины возможных водопритокков в горные выработки;

4) агрессивности подземных вод и возможности их использования для бытового и промышленного водоснабжения.

На стадии предварительной разведки дается приближенная характеристика гидрогеологических условий, а в процессе де-

тальной разведки все перечисленные виды исследований проводятся с максимальной полнотой и достоверностью, а характеристики получают точную количественную оценку.

Общими задачами инженерно-геологических исследований являются:

1) определение разрабатываемости пород и полезного ископаемого;

2) оценка устойчивости горных выработок;

3) определение специальных горнотехнических условий.

Как и в предыдущем случае, состав инженерно-геологических исследований не зависит от стадии разведки. Для решения первой задачи устанавливаются физико-механические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород; средняя плотность, сопротивление раздавливанию, разрыву и сдвигу, абразивность, способность к самовозгоранию, слеживанию и другие свойства.

Оценка устойчивости и прочности горных пород проводится по результатам определения физико-механических свойств и изучения зависимости этих свойств от минерально-петрографического состава, структур, текстур, трещиноватости пород и гидрогеологических условий.

Специальными горнотехническими условиями могут быть развитие карста, сейсмичность района, возможность возникновения горных ударов, степень, характер и состав газопроявлений, силикозоопасность, тип и интенсивность развития многолетней мерзлоты и другие инженерно-геологические явления.

6.4.11. Геологическая документация

В процессе разведки постоянно ведется тщательная документация всех исследований и работ. По *характеру* документация может быть *первичной*, составляемой непосредственно на месте выполнения работ или исследований, *сводной*, содержащей результаты обработки первичных материалов, и *итоговой (отчетной)*, в которой обобщаются все материалы и результаты какого-либо этапа или всей разведки. Объем геологической документации зависит главным образом от масштабов месторождения и сложности его геологического строения.

К *первичным геологическим материалам* относятся зарисовки, фотографии и описания отдельных обнажений, керны скважин, разведочных выработок, отдельные образцы полезного ископаемого и вмещающих пород, журналы опробования, регистрации геофизических, гидрогеологических и других наблюдений.

Сводными геологическими материалами являются следующие: эталонные коллекции пород и полезных ископаемых; описание геологического разреза месторождения; разнообразные карты, планы, разрезы и проекции различных типов и масштабов; диаграммы, таблицы, графики и другие результаты обработки количественных измерений различных показателей и свойств полезного ископаемого и вмещающих пород.

Итоговые материалы представляют собой ежегодные геологические отчеты, оперативные и генеральный (по итогам разведки) подсчеты запасов полезных ископаемых и полезных компонентов.

Своевременная геологическая документация разведочных работ чрезвычайно важна для определения направления дальнейших геологоразведочных работ, результатов разведки и в итоге — для промышленной оценки месторождения, а также для эффективного проектирования и даже эксплуатации горнодобывающего предприятия. Важность и необходимость геологической документации обусловлены тем, что в большинстве случаев невозможно повторить наблюдения, которые были выполнены в процессе проходки разведочной выработки, поэтому первым и главным условием документации является возможно более точное и объективное отображение фактов.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое разведка месторождений полезных ископаемых и каковы ее главные задачи?
2. Назовите основные принципы разведки. В чем заключается принцип полноты исследований и соблюдение каких требований он предусматривает?
3. Поясните смысл принципа последовательных приближений. Как отражается он в практике геологоразведочных работ?
4. В чем заключается принцип равномерности? Какие требования он предъявляет к методике и технике проведения геологоразведочных работ?
5. Каковы основные требования принципа наименьших материальных затрат?
6. Перечислите основные цели, задачи и результаты поисково-оценочной стадии и стадии предварительной разведки.
7. Каковы главные цели, задачи и результаты детальной разведки месторождений? В каких случаях проводится детальная разведка?
8. Охарактеризуйте цели и задачи эксплуатационной разведки, назовите ее основные виды. Для решения каких вопросов используются данные эксплуатационной разведки?
9. Назовите и кратко охарактеризуйте основные методы разведки.
10. На какие группы делятся технические средства разведки?
11. Что такое системы разведки? Назовите их основные виды и укажите условия выбора той или иной системы.

12. Дайте краткую характеристику буровых систем разведки.
13. Когда принимаются горные и горно-буровые системы разведки? Какие их виды вам известны?
14. Какие основные правила определяют расположение разведочных выработок? Назовите главные способы их размещения.
15. От каких основных характеристик месторождений зависит выбор формы разведочной сети?
16. Что такое параметры разведочной сети? Какими способами выбирают оптимальные параметры?
17. С какими целями проводится опробование полезных ископаемых и какие стадии оно включает?
18. Какие виды опробования выделяются в соответствии с его назначением?
19. Перечислите и кратко охарактеризуйте виды опробования, способы отбора проб.
20. Каким принципам должно удовлетворять рациональное опробование?
21. Что такое оконтуривание тел полезных ископаемых? Какие группы и виды контуров вам известны?
22. Назовите и охарактеризуйте главные способы оконтуривания. От каких факторов зависит их выбор?
23. В чем заключается состав и задачи гидрогеологических исследований в процессе разведки месторождений?
24. Каковы общие задачи инженерно-геологических исследований?
25. Расскажите о видах геологической документации. От чего зависит ее объем?

ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

7.1. ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ

Как справедливо отмечали А.Б. Каждан и Л.П. Кобахидзе «...правильная и своевременная геолого-экономическая оценка месторождений на всех стадиях геологоразведочных работ служит основой их рационального планирования, оценки их экономической эффективности, способствуя своевременному выявлению минеральных ресурсов и рациональному использованию недр».

Геолого-экономическая (или геолого-промышленная) оценка осуществляется в процессе изучения месторождения или проявления полезных ископаемых непрерывно, так как каждая новая выработка, каждый анализ вносят изменения и уточнения в количественную и качественную оценку объекта и горно-геологические условия его разработки.

Основной *целью* геолого-промышленной оценки на этапе *поисков* является определение целесообразности дальнейшего освоения изучаемого проявления полезных ископаемых, т.е. целесообразности постановки предварительной разведки. Поскольку информации, получаемой по результатам поисков, обычно недостаточно для проведения конкретных технико-экономических расчетов, то *основным способом* геолого-промышленной оценки на этой стадии является *аналогия* — сравнение установленных характеристик проявления полезных ископаемых с показателями хорошо изученного аналогичного по промышленно-геологическому типу месторождения.

В отдельных случаях на этапе поисков (чаще, поисково-оценочных работ) геолого-промышленная оценка может осуществляться путем *технико-экономических* расчетов. Целесообразность дальнейшего освоения месторождения подтверждается расчетом возможной производительности, сроков существования будущего горнодобывающего предприятия и ценности полезного ископаемого, выполняемым исходя из возможного (так

как запасы на этой стадии не подсчитываются) количества полезного ископаемого и полезных компонентов, содержащихся в месторождении, и потребности промышленности в данном виде сырья.

Геолого-промышленная оценка по результатам *предварительной разведки* практически целиком базируется на технико-экономических расчетах. Основой такой оценки являются технико-экономическое обоснование (ТЭО) предварительных кондиций и технико-экономический доклад (ТЭД), в котором рассматривается экономическая целесообразность дальнейшего освоения месторождения, исходя из его масштабов, горнотехнических условий разработки возможных технологических схем переработки полезного ископаемого и экономико-географических условий района. Для месторождений, заслуживающих дальнейшего освоения, в ТЭДе обосновывается возможность совмещения детальными разведочными работ с проектированием и строительством горнодобывающего предприятия и рекомендуются участки для первоочередного освоения.

В ходе геолого-промышленной оценки по результатам детальной разведки должны быть определены:

1) количество запасов полезного ископаемого (устанавливается при изучении формы, условий залегания и размеров тел полезных ископаемых путем построения системы геологических разрезов);

2) качество полезного ископаемого и количество полезных (основного и сопутствующих) компонентов (выявляются опробованием);

3) технологические свойства полезного ископаемого, т.е. возможность и рациональность извлечения всех полезных компонентов или переработки полезного ископаемого для дальнейшего использования в соответствующих отраслях промышленности (устанавливаются в ходе технологического опробования);

4) горнотехнические условия разработки месторождения (выясняется по результатам гидрогеологических и инженерно-геологических исследований, а также при изучении пространственно-морфологических особенностей тел полезного ископаемого);

5) экономико-географические условия района месторождения — климат, рельеф местности, энергетические ресурсы, транспортные условия, обеспеченность топливом и местными строительными материалами, трудовые ресурсы, экономический про-

филь района и др. (оцениваются на основании изучения соответствующих условий в период проведения разведки).

Окончательная оценка месторождения проводится после завершения разведки, точнее, после подсчета запасов и утверждения промышленных кондиций, так как главным критерием промышленной значимости месторождения, основой расчетов его ценности являются запасы полезного ископаемого и полезных компонентов. Причем, важно определить не только количество запасов минерального сырья, но и их достоверность, т.е. важно, чтобы эти запасы оказались при отработке в том месте, имели то качество и те особенности, которые были установлены в процессе подсчета запасов. На основе подсчета запасов оцениваются годовая производительность горнодобывающего предприятия, выпуск товарной продукции (руды или концентратов), себестоимость, рентабельность разработки месторождения с учетом мероприятий по сохранению окружающей среды. При этом оценочные показатели могут рассчитываться не только для всего месторождения, но и для отдельных его участков.

В капиталистических странах оценка промышленной значимости месторождения выполняется по одному критерию — размеру прибыли, получаемой от его разработки. В оценку прибыли обычно включается норма риска на тот случай, если запасы не подтвердятся или изменится конъюнктура на рынке минерального сырья.

7.2. ПОНЯТИЕ О КОНДИЦИЯХ

Кондиции представляют собой комплекс требований промышленности к минеральному сырью. На их основании определяется экономическая целесообразность разработки месторождения или его частей. Иначе говоря, *кондиции* — это *граничные параметры, ниже которых разработка полезного ископаемого становится невыгодной*. Кондиции рассчитываются для каждого месторождения исходя из современного состояния техники, технологии и экономики, а также географо-экономических и горно-геологических условий месторождения; при изменении какого-либо из перечисленных факторов они пересматриваются. Состав кондиций, т.е. перечень показателей, по которым устанавливаются граничные условия, зависит от вида минерального сырья, но в любом случае выделяются *три группы требований: к качеству, количеству и горнотехническим условиям*.

Для месторождений *металлических* полезных ископаемых и *горно-химического сырья*, кондиции включают *минимальное промышленное содержание* полезного компонента, *бортное содержание* полезного компонента, *максимально допустимое содержание вредных примесей*, *минимальную выемочную мощность* полезного ископаемого, *максимальную мощность прослоев* пустых пород или *предельный коэффициент рудоносности*, *предельные горнотехнические и гидрогеологические условия*.

Минимальное промышленное содержание — это *среднее содержание полезного компонента в блоке или отдельном теле* полезного ископаемого, ниже которого разработка нецелесообразна. Оно зависит от многих факторов: степени извлечения полезного компонента из руды, производительности предприятия; трудоемкости технологического процесса; себестоимости добычи руды; объема капитальных вложений; объема затрат на сохранение окружающей среды; количества разведанных запасов; отпускной цены на готовую продукцию предприятия; числа извлекаемых компонентов и др.

Для месторождений, *содержащих несколько полезных компонентов*, минимальное промышленное и бортное содержание устанавливаются либо для каждого компонента, *либо по условному металлу*. В качестве этого условного металла обычно принимается основной полезный компонент, а содержание сопутствующих учитывается с помощью переводных коэффициентов. В кондициях приводится перечень попутно извлекаемых компонентов и указывается величина переводных коэффициентов. Например, на месторождениях, содержащих в промышленных концентрациях медь, молибден, свинец и цинк, основным компонентом является медь. Следовательно, ее коэффициент равен единице, а остальным компонентам приданы следующие значения коэффициентов: молибдену — 20, цинку — 0,3, свинцу — 1,1. Допустим, что минимальное промышленное содержание по условной меди составляет 1 %. Тогда, если в блоке (участке) определено содержание меди 0,4 %, свинца 0,5 %, цинка 1 % и молибдена 0,01 %, то содержание условного металла составит: $0,4 \cdot 1 + 0,5 \cdot 1,1 + 1 \cdot 0,3 + 0,01 \cdot 20 = 1,45 \%$, т.е. значительно выше минимального промышленного содержания каждого отдельного компонента.

Следует заметить, что для каждого месторождения и для каждого компонента переводные коэффициенты рассчитываются отдельно в зависимости от ценности компонентов, возможности и полноты их извлечения и др.

Бортное содержание как показатель кондиций может вводиться при отсутствии четких геологических границ рудного тела или при неравномерном и весьма неравномерном распределении полезных компонентов. Значение бортового содержания всегда ниже минимального промышленного и обычно приравнивается к содержанию полезного компонента в хвостах обогатительной фабрики, т.е. при бортовом содержании еще возможно извлечение полезного компонента из горной массы. Бортное содержание применяют при оконтуривании рудных тел и ограничении непромышленных участков внутри их. В общем случае — это *содержание полезного компонента в крайней пробе, по которой может быть проведен контур тела полезного ископаемого*. Данный контур закрепляется (утверждается), если среднее содержание во всем рудном теле окажется не ниже минимального промышленного. В противном случае в качестве крайней (контурной) пробы должна быть принята другая — с более высоким содержанием.

На каждом месторождении величина бортового содержания рассчитывается подбором вариантов, которых должно быть не менее трех (рекомендуемое значение, выше и ниже его).

Для месторождений ценных полезных ископаемых, в которых рудные тела либо имеют малую мощность, либо характеризуются сложным или весьма постепенным выклиниванием, в качестве кондиционного показателя вводится *линейный запас (метропроцент)*. Например, минимальная выемочная мощность равна 2 м, минимальное промышленное содержание полезного компонента — 0,5 %, тогда минимальный промышленный линейный запас составит 1 м % ($2 \cdot 0,5 = 1$). В таком случае отработка полезного ископаемого мощностью 0,2 м экономически целесообразна при содержании полезного компонента не менее 5 % ($0,2 \cdot 5 = 1$ м %).

На месторождениях с прерывистым и крайне неравномерным распределением оруденения (жильные зоны, гнездовые и штокверковые тела и залежи цветных, редких и благородных металлов) в качестве показателя кондиций рассматривается также *коэффициент рудоносности*, представляющий собой отношение длины площади или объема полезного ископаемого (руды) к соответствующему размеру продуктивной зоны. Коэффициент рудоносности выражается в долях единицы и может быть линейным, площадным или объемным. Величина минимального коэффициента рудоносности зависит главным образом от ценности руды.

Для месторождений *неметаллических полезных ископаемых* показатели кондиций весьма многообразны, поскольку они устанавливаются в соответствии с областями использования сырья. Например, для месторождений асбеста к показателям кондиций принадлежит минимальное промышленное содержание асбеста по каждому сорту (сортность определяется длиной и физико-механическими свойствами волокна); для месторождений оптического сырья и электроизоляторов (слюд) — минимальный размер бездефектных участков полезных минералов и минимальное промышленное содержание таких участков; для месторождений блочного камня — минимальные размеры блоков, минимальный выход кондиционных блоков, физико-механические свойства. На месторождениях подсобного *металлургического сырья* (флюсы и огнеупоры) кондиции учитывают требования к химическому составу и физико-механическим свойствам (истираемость, температура плавления и др.) и т.д.

Основными показателями кондиций *угольных месторождений* являются минимальная рабочая мощность пласта, максимальное содержание золы, а в отдельных случаях — содержание серы, влаги (в рабочем топливе), спекаемость и другие параметры, определяющие возможность использования углей в различных отраслях промышленности.

7.3. ПОДГОТОВЛЕННОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ

Классификацией запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых определены условия, при которых месторождение считается подготовленным для промышленного освоения. Эти условия таковы:

1) запасы утверждены ГКЗ или ТКЗ (если месторождение новое) или Центральной комиссией по запасам отраслевого министерства (если месторождение уже разрабатывается);

2) вещественный состав и технологические свойства полезного ископаемого изучены с детальностью, достаточной для проектирования технологической схемы извлечения полезных компонентов;

3) гидрогеологические и инженерно-геологические условия изучены с детальностью, достаточной для составления проекта разработки месторождения;

4) участки, намеченные к первоочередному освоению, разведаны наиболее детально;

5) изучены другие полезные ископаемые, залегающие в пределах горного отвода (вскрышные породы, отходы), определены возможности их использования и подсчитано количество;

Таблица 7.1

Соотношение запасов различных категорий (в %) для месторождений различных групп (1—4) по сложности геологического строения

Категория запасов	Металлические и неметаллические полезные ископаемые				Угли и горючие сланцы		
	1	2	3	4	1	2	3
A	10	—	—	—	20	—	—
B	20	20	—	—	30	50	—
C ₁	70	80	80	50	50	50	100
C ₂	—	—	20	50	—	—	—

6) оценена возможность хозяйственного и бытового водоснабжения;

7) разработаны мероприятия по охране окружающей среды и рациональному использованию недр;

8) утвержденные балансовые запасы должны иметь определенное соотношение различных категорий, варьирующее для месторождений, принадлежащих по сложности геологического строения к разным группам (табл. 7.1).

7.4. ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ

В результате проведения всего комплекса геологоразведочных работ создается модель месторождения полезных ископаемых. При этом чем полнее детальность проведенных работ и, главное, оптимальнее методика их выполнения, тем ближе полученная модель соответствует реальному объекту. В общем виде модель месторождения полезных ископаемых включает комплекс разнообразных графических и табличных материалов: систему вертикальных и горизонтальных разрезов, проекции на вертикальную, горизонтальную или наклонную плоскости, блок-диаграммы, таблицы результатов опробования, геофизических, гидрогеологических и инженерно-геологических исследований и других материалов, характеризующих месторождение.

Основной целью подсчета запасов является *определение количества полезного ископаемого и полезных компонентов*. Чтобы

облегчить подсчет, не снижая существенно его точности и достоверности, проводится некоторое упрощение формы тел полезных ископаемых и распределения полезных компонентов. *Способ подсчета запасов* представляет собой прием, с помощью которого реальное тело полезного ископаемого разбивается на участки (подсчетные блоки) относительно простой формы и (или) с относительно равномерными значениями исходных данных подсчета запасов.

В общем случае количество полезного ископаемого Q определяется как произведение его объема V и средней плотности d

$$Q = V \cdot d. \quad (7.1)$$

Количество полезного компонента P вычисляется как произведение количества полезного ископаемого Q и среднего содержания полезного компонента в подсчетном блоке C , выражаемого в процентах. Расчет ведется по формуле:

$$P = Q \cdot C/100. \quad (7.2)$$

Во многих случаях объем полезного ископаемого отдельно не вычисляется, так как он в свою очередь устанавливается путем умножения площади тела полезного ископаемого S на его среднюю мощность m

$$V = Sm.$$

Подставляя значения объема в выражения (1) и (2), получим:

$$Q = Smd, \quad (7.3)$$

$$P = SmdC/100. \quad (7.4)$$

Формулы (7.3) и (7.4) называются *общими формулами подсчета запасов*; первая из них используется для определения количества полезного ископаемого (руды), а вторая — количества металла (полезного компонента). Расчетные показатели, входящие в эти формулы — *площадь тела* (блока, сечения и др.), *средняя мощность* полезного ископаемого в пределах подсчетного блока, *среднее содержание* полезного компонента в подсчетном блоке и *средняя плотность* полезного ископаемого — представляют собой *исходные данные подсчета запасов*. Средние значения этих данных обычно устанавливаются одинаковыми приемами независимо от способа подсчета запасов.

Площадь тела полезного ископаемого S (блока, сечения, проекции, основания и др.) определяется на графических материалах (планах, проекциях), чаще всего *инструментальным способом* с помощью специального прибора — *планиметра* (этот

прием подробно изучается в курсе геодезии и здесь не рассматривается). Для приближенного определения площади (или при отсутствии планиметра) либо уподобляют тела полезных ископаемых простейшим геометрическим фигурам (если границы тел или подсчетных блоков представлены прямыми линиями) и проводят простые расчеты, либо пользуются палеткой.

Способ палетки позволяет достаточно точно и относительно быстро выявить площадь тела практически любой конфигурации. Палетка — это лист прозрачного материала (например, кальки), на который по квадратной сетке нанесены точки. Каждая точка характеризует определенную площадь (цена деления палетки — S_0), зависящую от масштаба палетки и расстояния между точками. Если, например, точки нанесены через 5 мм, то цена деления палетки в масштабе 1 : 1000 будет 25 м², в масштабах 1 : 2000 и 1 : 5000 — соответственно 100 и 625 м² и т.д. Для определения площади тела полезного ископаемого (или его части) палетка накладывается на соответствующий графический материал, затем подсчитывается число точек внутри контура N_1 и число точек, попавших на контур подсчетного блока N_2 . Общая площадь вычисляется по формуле

$$S = S_0 \cdot N_1 + S_0 \cdot N_2/2.$$

Средняя мощность m обычно определяется способом среднего арифметического по формуле

$$m = \sum m_i / n, \quad (5)$$

где m_i — частные значения мощности в i -м измерении, м; n — число измерений.

Среднее содержание C полезного компонента рассчитывается либо способом среднего арифметического (когда интервалы опробования и распределение отдельных значений содержания полезного компонента по пробам относительно равномерны), либо способом среднего взвешенного по формуле

$$C = \sum C_i a_i / \sum a_i,$$

где C_i — отдельные значения содержания полезного компонента в i -й пробе, %; a_i — отдельные значения параметра, на который «взвешивается» содержание (интервал опробования, мощность, площадь, объем, плотность, область влияния пробы и др.).

Средняя плотность полезного ископаемого устанавливается по результатам технического опробования и рассчитывается способом среднего арифметического по формуле, аналогичной выражению (5).

Конкретные *способы подсчета запасов* различаются в зависимости от способов и приемов геометризации. Выбор того или иного способа зависит от формы тела полезного ископаемого, его размеров, степени изменчивости мощности и распределения содержания полезных компонентов, расположения и густоты разведочных выработок, а также от практических задач подсчета. При всем многообразии существующих способов подсчета запасов наиболее широко применяются три (из них): *среднего арифметического, геологических блоков и разрезов (сечений)*.

Способ среднего арифметического, как и следует из его названия, заключается в расчете средних значений исходных данных подсчета запасов, а затем на их основе — количества полезного ископаемого и полезного компонента по общим формулам (3) и (4). Этот способ применяется при подсчете запасов полезных ископаемых в рудных телах очень простой формы и строения, с крайне равномерным распределением полезных компонентов. Обычно же он используется в качестве дополнительного для проверки точности подсчета основным, более достоверным способом.

Способ геологических блоков состоит в оконтуривании участков (блоков), в пределах которых основные параметры тела полезного ископаемого близки по значениям. Иначе говоря, в пределах геологического подсчетного блока должны быть примерно одинаковы содержания полезного компонента, мощность, степень разведанности (густота или плотность разведочной сети), условия залегания, сорт и тип полезного ископаемого, технологические свойства, гидрогеологические и инженерно-геологические условия, средняя плотность, условия вскрытия и разработки.

В пределах каждого геологического блока исходные данные рассчитываются способом среднего арифметического, а его площадь определяется планиметром или палеткой. Запасы в блоке подсчитываются по формулам (3) и (4). Общие запасы по месторождению получают путем суммирования запасов полезного ископаемого (руды) и полезных компонентов (металлов) по отдельным блокам, а среднее содержание полезного компонента устанавливается обратным расчетом из формулы (2), т.е.

$$C = \frac{P}{Q} \cdot 100. \quad (7.7)$$

Способ разрезов (сечений) очень широко применяется в практике геологоразведочного дела, так как позволяет достато-

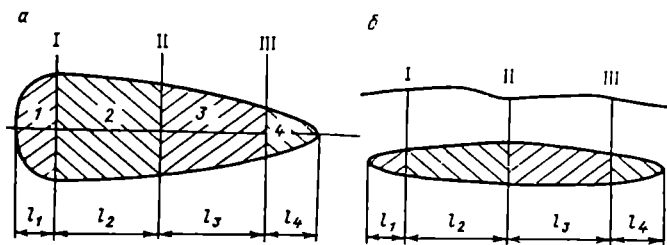


Рис. 7.1. Схема к подсчету запасов способом вертикальных параллельных сечений:

a — план; *b* — разрез по простиранию рудного тела; l_1 — l_4 — длины подсчетных блоков I—IV; I—III — линии разрезов

чно просто и точно подсчитать запасы полезных ископаемых в телах практически любой формы и сложности геологического строения. Этот способ имеет несколько модификаций: вертикальных параллельных разрезов, вертикальных непараллельных разрезов и горизонтальных разрезов. Наиболее часто используется способ вертикальных параллельных разрезов.

Геологические разрезы расчленяют тело полезного ископаемого на отдельные участки — подсчетные блоки (рис. 7.1). Краевые блоки с одной стороны ограничены контуром рудного тела, с другой — первым (последним) разрезом. Внутренние блоки по простиранию тела ограничены разрезами, а по бокам — контурами тела полезного ископаемого. Таким образом, *границами подсчетного блока служат контуры тела полезного ископаемого и разрезы (сечения)*.

Площадь полезного ископаемого определяется на разрезах одним из вышеуказанных способов, а объем полезного ископаемого в подсчетном блоке V определяется по одной из следующих формул:

а) призмы

$$V = \frac{S_I + S_{II}}{2} l_2; \quad (7.8)$$

б) усеченного конуса

$$V = \frac{S_{II} + S_{III} + \sqrt{S_{II} \cdot S_{III}}}{3} l_3; \quad (7.9)$$

в) клина

$$V = \frac{S_I}{2} l_1; \quad (7.10)$$

г) конуса

$$V = \frac{S_{III}}{3} l_4. \quad (7.11)$$

где S_I , S_{II} , S_{III} — площадь полезного ископаемого по соответствующему разрезу, м² (см. рис. 7.1); l_1 , l_2 , l_3 , l_4 — расстояния между разрезами или от разреза до точки выклинивания полезного ископаемого, м.

Формулы (7.8) и (7.9) применяются для вычисления объема блоков, заключенных между разрезами (блоки 2 и 3 на рис. 7.1); при этом первая из них используется тогда, когда площади полезного ископаемого в соседних сечениях отличаются не более, чем на 40 % (блок 2), а вторая — в случае резкого, более чем на 40 %, отличия площадей в соседних разрезах (блок 3). Формула клина (7.10) предпочтительна тогда, когда выклинивание полезного ископаемого представлено линией. В этом случае контур блока в плане можно уподобить прямоугольнику (блок 1), а в разрезе по простиранию — треугольнику. Формула (7.11) дает достоверные результаты при подсчете объема в краевых блоках, когда тело полезного ископаемого выклинивается в точку, т.е. контуры блока и в плане, и в разрезе по простиранию можно уподобить треугольнику (блок 4).

Среднее содержание полезного компонента вычисляется в два или три этапа. Вначале устанавливается содержание металла по скважинам (выработкам), обычно способом среднего арифметического. Затем способом среднего взвешенного на мощность — см. выражение (7.6) — рассчитывается среднее содержание по разрезу. На третьем этапе вычисляется среднее содержание для внутренних блоков, опирающихся на два разреза — способом среднего взвешенного на площадь. Для крайних блоков, ограниченных одним разрезом, среднее содержание по этому разрезу принимается за среднее содержание по блоку.

Общие запасы полезного ископаемого и полезных компонентов по всему месторождению представляют собой сумму запасов по блокам. Среднее содержание полезного компонента по месторождению определяется обратным расчетом по формуле (7).

7.5. МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ЭВМ

На основе геологоразведочных данных, характеризующих геологическое строение месторождения, можно провести моделирование строения, состава и свойств месторождения полезного ископаемого.

Степень сложности и детальности модели зависит прежде всего от сложности геологического строения исследуемого месторождения, изменчивости его свойств, а также от целей, преследуемых ее построением.

Моделирование таких геологических объектов, какими являются рудные месторождения, особенно с неравномерным распределением полезных компонентов, представляет собой очень сложную задачу из-за, во-первых, ограниченной информации и, во-вторых, большого числа взаимосвязанных геологических, геохимических и других факторов, которые необходимо учесть при моделировании.

При этом следует помнить о различии между геологическими моделями и реальным объектом, поскольку соответствие между самой совершенной моделью и месторождением никогда не будет полным вследствие ограниченности и случайности исходных данных.

Основой моделирования месторождений полезных ископаемых является информация, полученная в процессе разведки и эксплуатации месторождения. Она должна содержать не только количественные показатели (мощности, содержание полезных и вредных компонентов, запасы и др.), но также позволять судить о закономерности распределения и размещения руд в недрах.

В общей постановке математическая модель горно-геологического объекта представляет собой совокупность геолого-маркшейдерских данных, трансформированных с помощью выбранного математического аппарата (является важнейшей составной частью моделирования) по определенному алгоритму.

Создание комплексной модели горно-геологического объекта, которая отвечала бы нескольким назначениям, очень сложная задача, поэтому для каждой конкретной задачи лучше строить свою модель, отражающую те стороны и связи изучаемого

процесса, которые наиболее важны для данного исследования. Например, при исследовании и прогнозировании особенностей размещения полезных компонентов в рудных залежах могут быть построены модели одномерные (по профилям и разрезам), двумерные (по площади), трехмерные (в пространстве). Степень соответствия модели реальному объекту определяет достоверность прогнозирования.

Математические модели делят на простые геометрические модели месторождений, дискретные, аналитические и смешанные.

Простые геометрические модели месторождений обеспечивают представление сложных в действительности форм реальных рудных тел упрощенными преобразованиями в виде правильных геометрических фигур — параллелепипедов, усеченных конусов и пирамид, призм, а на поперечных сечениях — в виде параллелограммов и трапеций.

Простые геометрические модели дают невысокую точность моделирования и могут быть использованы при различных приближенных расчетах на месторождениях с простыми горно-геологическими условиями. Но следует отметить и их преимущества перед более сложными моделями, которые заключаются в следующем: простые геометрические модели позволяют быстро осуществить расчет большого числа вариантов, исследовать влияние тех или иных определяющих факторов, выявить зону, в пределах которой находится оптимальное значение искомой величины, уточняемой при необходимости другими методами.

Область применения простых геометрических моделей ограничивается однородными рудными телами относительно несложной формы — чем сложнее месторождение, тем больше погрешность расчетов.

Абсолютную погрешность определения площади, которая возникает при замене сложного контура более простым (m_s), определяют по формуле

$$m_s = \frac{Lm}{4N} \sqrt{\frac{L^2 p - L^2 m}{N}}, \quad (7.12)$$

где L_m — длина (периметр) контура простой модели рудного тела, м; L_p — разведочный периметр рудного тела, м; N — число пересечений обоих контуров.

Относительная погрешность (M_r) в процентах

$$M_r = m_r S^{-1} \cdot 100, \quad (7.13)$$

где S — площадь разведочного контура, м².

Для описания месторождений полезных ископаемых широко используются дискретные математические модели. Суть дискретного моделирования месторождений заключается в том, что участок горного отвода, включающий полезное ископаемое и вмещающие породы, представляется в виде суммы микроблоков, каждый из которых характеризуется координатами в трехмерном пространстве и кодом качественных признаков. Эти модели получили название цифровых или блочных.

Месторождение полезного ископаемого или его участок (блок) характеризуются многочисленными геологическими показателями (категория запасов, тип и сорт руды, содержание компонентов и др.), которые в пределах элементарного блока считаются постоянными. Номенклатура показателей, характеризующих геологическое строение, с распределением их по структурным составляющим геологическим или технологическим блокам представляет собой массив закодированной информации в дискретной модели. Положение микроблока на месторождении определяется координатами его центральной точки (x , y , z), что позволяет при расчетах на ЭВМ оперировать микроблоком, как точкой.

Конструкция и параметры цифровой модели в различных геологических условиях и при различных видах геолого-маркшейдерской информации определяются таким образом, чтобы уменьшить погрешность моделирования и одновременно снизить трудоемкость работ по подготовке информации и выполнению расчетов. Основными параметрами цифровой модели месторождения являются ее границы (размеры условного параллелепипеда, вмещающего в себя горный отвод) и размеры микроблока.

Размеры микроблока в плане имеют очень важное значение, так как от этих размеров зависит точность решения горно-геометрических задач. Допустимый размер микроблока определяется из условия точности моделирования геологических показателей в объемах, соответствующих принятой технологии горных работ.

Достоинство цифровых моделей заключается в том, что они обеспечивают интеграцию источников геологической информации и позволяют на единой информационной базе осуществить увязку всех функциональных задач, решаемых на горном предприятии и объединении.

Аналитические модели месторождений представляют собой совокупность аналитических функций, объединенных в систему, описывающих распределение определенных геологических признаков в трехмерном пространстве геохимического поля. Аналитические модели достаточно компактны для записи в ЭВМ, удобны для расчетов, но применение их формально ограничивается такими типами залежей, которые в пределах выбранной системы координат представляют собой однозначные функции.

Применение аналитических моделей в реальных горно-геологических условиях связано с непрерывностью геометрических и качественных свойств месторождения. По этой причине реализация этих моделей на сложноструктурных месторождениях, которые, как правило, состоят из значительного числа рудных тел, часто осложненных дорудными и пострудными тектоническими нарушениями, затруднена. Кроме того, математический аппарат функционального представления сложных форм в трехмерном пространстве не имеет достаточно серьезной теоретической основы.

В настоящее время практическое применение нашли аналитические модели, основанные на следующих положениях:

- месторождение полезного ископаемого является заданным посредством исходной геологической информации. В нем посредством аналитических функций на основе геологоразведочных данных описывается размещение геологических показателей, задача решается послойно, в каждом слое описываются контуры геологических блоков и качественные признаки;

- плоские контуры описываются с помощью кусочно-линейных функций или сплайнов.

Горно-геометрическое моделирование размещения свойств полезных ископаемых в виде поверхностей топографического порядка представляет собой особую самостоятельную разновидность математического (графического) моделирования.

Графические модели являются одним из наиболее распространенных способов изучения геологических объектов, основами познания геологического строения, условий залегания полезных ископаемых, пространственного размещения полезных компонентов.

К графическим моделям относятся геологические карты, разрезы, планы, проекции и др. При этом следует помнить, что графические модели в отличие от математических дают лишь качественную оценку изучаемых горно-геологических объектов.

Основными методами графического моделирования месторождений полезных ископаемых являются метод изолиний, а также геологических разрезов (сечений) и профилей. Кроме того, при изучении сложных залежей используется дополнительный метод объемных графиков.

Изолинии — геометрические места точек с одинаковыми значениями показателей. Их можно строить следующими способами:

1. Метод инвариантных линий и скатов, суть которого заключается в следующем. На плане с заданными точками, в которых определены значения изучаемого признака, в результате геометрического анализа намечаются инвариантные линии и скаты изображаемой поверхности. На линиях скатов с помощью линейной интерполяции находятся ступенчатые отметки для заданного набора сечений. После этого точки с одинаковыми отметками соединяются плавными линиями.

2. Метод многогранника заключается в аппроксимации изображаемой поверхности многогранником, каждая грань которого представляет собой треугольник с вершинами в близлежащих точках с заданными числовыми отметками. В первом приближении изолинии для каждого сечения находятся в виде ломаных линий. При этом каждое звено ломаной в плане пред-

ставляет собой проекцию линии пересечения плоскости сечения с одной из граней многогранника. Окончательно изолинии строятся с помощью «сглаживания» полученных таким образом ломаных.

3. Метод профилей состоит в том, что на план наносятся проекции профилей изображаемой поверхности и исходные точки на них. С помощью профилей строятся ступенчатые (кратные выбранному сечению) отметки высот. Затем линии равных высот соединяются плавными кривыми.

4. Статистический метод заключается в построении изолиний поверхности по средним групповым отметкам. В отличие от рассмотренных выше методов данный способ использует не исходные данные опробования, а преобразованные с помощью статистического сглаживания на регулярную квадратную или прямоугольную сеть. Параметры регулярной сети выбираются в зависимости от масштаба плана, изменчивости показателя, расстояния между исходными точками и др. Выбор окна сглаживания осуществляется обычно из практических соображений.

5. Косвенный метод применяется при построении изолиний поверхности, являющейся функцией некоторой данной в изолиниях другой поверхности. При использовании этого метода применяется аппарат математических действий с поверхностями топографического порядка (сложение, умножение, дифференцирование и др.).

Способом отображения формы тела и высотного положения линии, являющейся следом от пересечения некоторой поверхности (поверхности раздела литологических разновидностей пород, типов и сортов руд или поверхности сместителя и др.), служит метод геологических разрезов. Более полное представление о пространственном положении геометризуемой поверхности в пределах участка, освещенного разведочными пересечениями, обеспечивается совокупностью разрезов. Обычно при построении геологических разрезов используются данные геологоразведочных скважин и горных выработок. На вертикальных разрезах по линии разведочных скважин строят высотную сетку, профиль земной поверхности, профили осей разведочных выработок, на некоторые наносят границы литологических

разновидностей горных пород, полученных по результатам бурения, проводят увязку стратиграфически одинаковых горных пород и залежей по соседним выработкам. Для более полного представления формы залежи, характера изменения компонента, применения физико-технических и горно-геологических свойств залежи строят геологические разрезы с изолиниями.

Метод объемных графиков, представляющий собой блок-диаграммы, применяется для наглядного и объемного представления сложных по форме геологических структур. Построение блок-диаграмм сводится к аффинному проектированию участка для всего месторождения с изображением особенностей их строения.

Рассмотренные выше методы графического моделирования месторождений полезных ископаемых позволяют эффективно решать многочисленные задачи проектирования, планирования и управления горным производством. Очевидно, что прогресс в области применения средств вычислительной техники для автоматизации моделирования месторождений помимо их совершенствования может быть достигнут за счет формализации существующих традиционных методов и создания соответствующего программного обеспечения.

Контрольные вопросы и задания

1. Каковы основные цели геолого-промышленной оценки месторождений на стадиях поисков и предварительной разведки?
2. Какие вопросы решаются на стадии детальной разведки месторождений?
3. Что такое промышленные кондиции и от каких факторов они зависят?
4. Какие показатели входят в состав кондиций на металлические полезные ископаемые и горно-химическое сырье?
5. В чем заключаются особенности установления промышленных кондиций для неметаллических полезных ископаемых (месторождений минералов и горных пород)?
6. Какие показатели входят в состав кондиций для месторождений ископаемых углей?
7. Перечислите общие условия, определяющие подготовленность месторождений для промышленного освоения.

8. На какие группы разделяются месторождения полезных ископаемых по сложности их геологического строения?

9. Приведите общие формулы подсчета запасов твердых полезных ископаемых. Поясните приемы определения всех показателей, входящих в формулы подсчета.

10. Перечислите и кратко охарактеризуйте главные методы подсчета запасов.

11. В чем заключается и какие преимущества имеет подсчет запасов способом разрезов?

12. Перечислите и кратко охарактеризуйте типы математических моделей месторождений.

ОСОБЕННОСТИ РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ РАЗЛИЧНЫХ ПРОМЫШЛЕННО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ ТИПОВ

Разведка месторождений различных промышленно-генетических типов ведется в соответствии с принципами разведки и требованиями классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Контроль за геологоразведочным процессом, а точнее, за соответствием методики разведки требованиям классификации запасов осуществляет ГКЗ РФ.

ГКЗ периодически издает нормативные документы (инструкции по применению классификации запасов к месторождениям соответствующих полезных ископаемых, по оформлению и представлению в ГКЗ РФ материалов подсчета запасов и др.), утверждает методические рекомендации по разведке месторождений отдельных видов полезных ископаемых, которые обязаны соблюдать все организации и предприятия, ведущие разведку месторождений. Рекомендации ГКЗ и научно-исследовательских организаций по разведке месторождений полезных ископаемых исходят из группировки месторождений по сложности геологического строения (см. раздел «Понятие о кондициях»), но, во-первых, для различных видов полезных ископаемых месторождения не всех четырех групп могут иметь промышленное значение, а во-вторых, реальные объекты не всегда «укладываются» в эту общую группировку и тогда приходится выделять дополнительные подгруппы, учитывающие особенности месторождений соответствующего полезного ископаемого или генезиса.

8.1. РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Абсолютное большинство промышленных месторождений металлических полезных ископаемых по сложности геологиче-

ского строения относится к первым трем группам; 4-я группа включает промышленные месторождения лишь ртути, золота и некоторых редких металлов.

Главным техническим средством разведки месторождений 1-й группы являются буровые скважины. Месторождения 2-й и 3-й групп разведуются как буровыми (месторождения железа, марганца, хрома, алюминия), так и горно-буровыми (остальные месторождения металлических полезных ископаемых) системами. Разведка месторождений 4-й группы проводится практически исключительно горными выработками.

При разведке месторождений металлических полезных ископаемых всех четырех групп обязательно широкое применение геофизических исследований.

Месторождения железа разведуются главным образом буровыми скважинами с обязательным использованием каротажа. К 1-й группе принадлежат преимущественно осадочные пластовые горизонтально- или пологозалегающие месторождения простого строения с устойчивыми мощностью и качеством (Керченский бассейн). Разведка подобных месторождений выполняется обычно по квадратной сетке с параметрами для категорий А, В и С₁ соответственно 200×200, 400×400 и 800×800 м. Во 2-й группе выделяются две подгруппы. К первой из них (2^а) относятся крупные пласто- и линзообразные тела метаморфизованных месторождений со сложными условиями залегания, но выдержанным качеством руд (Ингулецкое, Коробковское, Михайловское и другие месторождения КМА и Криворожского бассейна, Оленегорское в Карелии и Костомукшское на Кольском полуострове и др.). Эти месторождения целесообразно разведывать до категорий В и С₁ буровыми скважинами, расположенными по прямоугольной сети: (100—300)×(100—200) м до категории В и (400—600)×(200—400) м — С₁ (напомним, что первая цифра означает расстояние между выработками по простиранию тела полезного ископаемого, вторая — по падению). Вторая подгруппа данной группы (2^б) включает крупные и средние месторождения преимущественно магматического и скарнового генезиса линзо-, штоко-, столбо- и трубообразной формы, сложного строения с невыдержанным качеством (Гусевогорское, Качканар, Ковдорское, Соколовское, Сарбайское, Гороблагодатское, Высокогорское, Коршуновское), а также некоторые месторождения гидротермального генезиса (Бакальское). Эти месторождения также нецелесообразно разведывать до категории

А, а разведка до категорий В и С₁ требует большей, чем в подгруппе 2^а густоты разведочной сети; (75—100)×(50—100) м для категории В и (150—300)×(100—200) м — С₁.

Месторождения железа 3-й группы имеют весьма ограниченное промышленное значение. Это мелкие и средние тела очень сложной формы с резко меняющимися мощностью и качеством, обычно же отдельные участки магматических, метаморфизованных и скарновых месторождений, расположенные в зонах тектонических нарушений, а также небольшие месторождения типа Ирбинского, Изычского и др. Такие месторождения (или участки) разведываются до категории С₁ буровыми скважинами, размещаемыми по сетке (50—100)×(50—100) м.

Запасы категории С₂ на месторождениях железа всех групп сложности геологического строения подсчитываются на основании редкой сети буровых скважин, подтверждающих природу геофизических аномалий.

Месторождения марганца по сложности геологического строения группируются для целей разведки так же, как и месторождения железа, и разведываются преимущественно буровыми скважинами с применением комплекса геофизических исследований.

К 1-й группе принадлежат осадочные морские весьма крупные пластообразные месторождения с горизонтальным или слабонаклонным залеганием, выдержанной мощностью, равномерным распределением марганца и закономерной сменой сортов руд (Никопольское, Больше-Токмакское). Поскольку изменчивость морфологии и качества месторождений марганца выше, чем месторождений железа, то и густота разведочной сети больше: объекты данной группы разведываются по квадратной сети 100-150, 200-300 и 600 м соответственно до категорий А, В и С₁.

Подгруппа 2^а также объединяет весьма крупные месторождения осадочного генезиса (Чиатурское), но с невыдержанной мощностью, неравномерным распределением марганца и наличием безрудных прослоев, а также с незакономерным сочетанием различных типов руд. Месторождения этого подтипа целесообразно разведывать до категорий В по сетке 200×200 м и С₁ — 400×400 м.

Подгруппа 2^б включает метаморфогенные месторождения (Западный Каражал в Казахстане, Панч-Махал в Индии, Калахари в ЮАР и др.), представляющие собой крупные и средние

по размерам пластообразные залежи. Вследствие более высокой изменчивости морфологии и качества они разведываются по сетке 50—100 м до категории В и 100—200 м — С₁.

К 3-й группе относятся месторождения выветривания (Куруман в ЮАР), а также участки крупных месторождений типа Никопольского и Чиатурского, затронутые отработкой прошлых лет. Разведка подобных месторождений (участков) проводится по еще более густой сетке — 25—50 м до категории В и 100×(50—100) м — С₁.

Все промышленные *месторождения хромитовых руд* имеют собственно магматическое происхождение и обладают довольно сильной изменчивостью морфологии и качества, поэтому месторождения 1-й группы не выделяются. Основными критериями группировки месторождений хрома для целей разведки являются размер тектонически однородных блоков и изменчивость морфологии и качества. В подгруппу 2^а входят крупные линзо- и жилообразные залежи с выдержанной мощностью и качеством и размерами тектонических блоков более 1 км (месторождения Кемпирсайской группы и Сарановское в СНГ, Бушвельд в ЮАР, Великая Дайка в Зимбабве и др.). Эти залежи разведываются до категории В буровыми скважинами, расположенными по сетке 80×60 м, до категории С₁ — по сетке (80—120)×(60—80) м. Менее крупные тектонические блоки тех же месторождений, имеющие размеры по простиранию от 300 до 1000 м, объединяются в подгруппу 2^б и разведываются буровыми скважинами по сетке (40—60)×(20—30) м до категории В и (80—120)×(40—60) м — С₁.

К 3-й группе относятся средние и мелкие тела и месторождения (Первомайское, Спорное) линзо-, жило- и гнездообразной формы размером по простиранию менее 300 м, с невыдержанной мощностью, качеством и весьма изменчивыми элементами залегания. Эти тела разведываются только до категории С₁ по сетке (40—60)×(20—30) м.

Месторождения вольфрамовых руд по сложности геологического строения для целей разведки подразделяются на четыре группы. К 1-й принадлежат крупные штокверки с относительно равномерным распределением полезного компонента (Верхнее Кайракты). На месторождениях данного типа возможна разведка до категории А лишь на основе горных выработок. Штольни и штреки проходятся на расстоянии 60—80 м по падению рудного тела, восстающие — через 100—120 м по простиранию,

а орты и рассечки — через 50—60 по простиранию. Запасы категории А подсчитываются в пределах контуров рудных тел, построенных способом интерполяции (экстраполяция, даже ограниченная, не допускается). Разведка до категорий В и С₁ может осуществляться с помощью буровых скважин соответственно по сетке 100—120 и 120—200 м.

Во 2-й группе вольфрамовых месторождений также различают две подгруппы. Подгруппа 2^а включает крупные штокерковые (Богуты, Кара-Оба, Спокойнинское и др.) и скарновые (Тырныауз, Ингичке, Восток-II и др.) месторождения сложной морфологии с неравномерным распределением полезного компонента. Месторождения данного типа разведуются до категории В с помощью горных выработок, которые проходят на тех же расстояниях, что и для категории А на месторождениях 1-й группы. В качестве дополнительного средства могут использоваться скважины, которые бурят на расстоянии 50-60 м друг от друга. Разведка до категории С₁ ведется с помощью скважин, буримых по сетке 100-120 м.

К подгруппе 2^б принадлежат месторождения гидротермального генезиса, представленные крупными жилами или оруденелыми зонами (месторождения Холтосон, Акчатау в СНГ, Хабертон в Австралии и др.). Подобные месторождения также нецелесообразно разведывать до категории А. Разведка до категории В осуществляется с применением горных выработок: прослеживающих горизонтальных (штольни, штреки), которые проходят на расстоянии 60—80 м по падению, прослеживающих вертикальных или наклонных (восстающие), отстоящих друг от друга на 100—120 м по простиранию, и поперечных (орты, рассечки), которые проходят через 20—30 м по простиранию. Горные выработки используют в сочетании со скважинами, которые бурят по сетке (60—80)×(40—50) м. Разведка до категории С₁ может проводиться только буровыми скважинами, располагаемыми по сетке (100—120)×(60—80) м.

Объекты 3-й группы — это небольшие месторождения и тела сложной морфологии с весьма неравномерным распределением полезного компонента и крайне изменчивыми элементами залегания (Иультин, Лермонтовское, Яхтонское, Чорух-Дайрон в СНГ, Кишу в КНР, Маучи в Мьянме и др.). Эти месторождения разведуются только до категории С₁ с применением горных выработок (штольни, штреки — через 40—60 м; восстающие — через 60—120 м, орты, рассечки — 10—20 м) и буровых скважин — (60—80)×(40—50) м.

На месторождениях вольфрамовых руд рядовое опробование целесообразно проводить ядерно-физическими методами - по двум стенкам горных выработок, идущих вдоль рудного тела или не менее чем через 2—4 м при опробовании забоя выработки.

Месторождения молибдена по сложности геологического строения входят во 2-ю и 3-ю группы, но для целей разведки во 2-й группе выделяется четыре подгруппы. Разведка молибденовых месторождений всех типов осуществляется главным образом горными выработками: прослеживающими рудные тела по простиранию (штольни, штреки), по восстанию (восстающие) и поперечными (орты, рассечки), а также буровыми скважинами.

Во 2-ю группу объединяются месторождения (или их участки) с неравномерным распределением молибдена, изменчивой морфологией и чередованием кондиционных и некондиционных участков. Как правило, это месторождения скарнового и гидротермального генезиса, представленные крупными штокерками (Каджаран, Жирекен, Агарак в СНГ, Кляймакс, Квеста, Бингем в США, Эндако в Канаде, Чукикамата в Чили и др.) или крупными пласто- и штокообразными залежами (Тырныауз, Сорское в СНГ, Санг-Донг в Респ. Корея, Янцзы-Чжанзы в КНР и др.), а также крупными протяженными жилами (Восточный Коунрад).

К 3-й группе относятся средние и мелкие месторождения с крайне неравномерным распределением молибдена, со сложными и изменчивыми условиями залегания и интенсивно развитой разрывной тектоникой. Обычно это жилы, жильные зоны и мелкие гнездообразные тела гидротермального генезиса (Шахтама, Северный Коунрад, Южно-Янгиканское в СНГ, Квеста-1 в США и др.).

Месторождения 2-й группы (всех четырех подгрупп) могут разведываться до категории В штольнями и штреками, расположенными через 60—80 м по падению, восстающими — через 100—120 м по простиранию. Расстояния между ортами и рассечками изменяются на месторождениях различных подгрупп и составляют для подгрупп 2^а, 2^б, 2^в и 2^г соответственно 100—120, 50—60, 20—30 и 10—20 м. Буровые скважины на месторождениях подгруппы 2^а располагаются по сетке: $(100—120) \times (100—120)$ м, 2^б — $(50—60) \times (50—60)$ м, 2^в — $(40—60) \times (40—50)$ м и 2^г — $(40—60) \times (40—50)$ м).

Запасы категории C_1 могут подсчитываться на месторождениях 2-й группы по результатам бурения скважин, располагаемых по сетке на объектах подгруппы 2^а $(100—200) \times (100—200)$ м, 2^б — $(100—120) \times (100—120)$ м, 2^в и 2^г — $(80—120) \times (80—100)$ м.

Месторождения 3-й группы целесообразно разведывать только до категории C_1 , размещая горные выработки и буровые скважины на следующих расстояниях: штольни и штреки через 40—60 м, восстающие — 60—120 м, орты и рассечки — 10—20 м, скважины по сетке $(30—60) \times (30—50)$ м.

Опробование молибденовых месторождений в горных выработках должно проводиться по двум стенкам, расстояние между пробами в прослеживающих выработках не должно превышать 2—4 м. В качестве рядового опробования могут применяться ядерно-физические методы.

Запасы категории А могут подсчитываться только на разрабатываемых месторождениях по данным эксплуатационной разведки и горно-подготовительных работ.

Промышленные месторождения никеля и кобальта принадлежат к первым трем группам по классификации ГКЗ РФ. Месторождения 1-й группы представляют собой крупные пластообразные залежи выдержанной мощности с равномерным распределением никеля (участки вкрапленных медно-никелевых руд Талнах-Октябрьского, месторождение Норильск-1). Подобные месторождения разведываются буровыми скважинами, располагаемыми по квадратной сетке 100×100 м для категории А, 200×200 м — В и $(400—600)$ м — C_1 .

Во 2-й группе для целей разведки выделены две подгруппы. Подгруппа 2^а включает крупные пласто-, плитообразные тела невыдержанной мощности или с неравномерным распределением никеля. Обычно это богатые сульфидные медно-никелевые месторождения магматического генезиса (Октябрьское, Талнахское, Заполярное, Каммикиви, Котсельваара), которые разведываются буровыми скважинами до категорий В и C_1 . Для разведки до категории В скважины располагаются по сетке $(50—100) \times (50—100)$ м, до категории C_1 — $(150—200) \times (75—100)$ м.

В подгруппу 2^б входят силикатные никелевые месторождения, представляющие собой крупные, средние и мелкие пласто-, линзо-, и клинообразные залежи невыдержанной мощности, сложного выклинивания и с неравномерным распределением никеля (Бутыктальское, Черемшанское, Липовское, Кайракты и

др.). Месторождения этого типа также разведуются буровыми скважинами до категорий В и С₁. Скважины размещаются обычно по квадратной сетке 25—50 м для категории В и 50—100 м — С₁.

К 3-й группе относятся средние и мелкие месторождения и тела очень сложной формы, весьма невыдержанной мощности и неравномерного распределения никеля (Восток, Спутник, «медистые» руды Октябрьского и Талнахского месторождений), а также силикатные никелевые месторождения коры выветривания смешанного типа (Рогожинское, Покровское, Синарское, Дашкесан и др.). Эти месторождения целесообразно разведывать лишь до категории С₁ буровыми скважинами и горными выработками, располагаемыми по сетке (50—100)×(25—50) м.

Месторождения алюминия (так же как и месторождения черных металлов) разведуются главным образом буровыми скважинами. Для целей разведки месторождения объединяются в шесть подгрупп. К 1-й группе принадлежат крупные пластообразные залежи с выдержанной мощностью и качеством руд. Эта группа включает две подгруппы. В подгруппу 1^а входят крупные изометричные залежи, которые разведуются по квадратной сетке 100×100 м до категории А, 200×200 м — В и 400×400 — С₁. Крупные вытянутые в одном направлении залежи подгруппы 1^б разведуются прямоугольной сетью скважин; 100×(50—100) м до категории А, 200×100 м — В и 400×200 м — С₁.

Во 2-й группе по сложности геологического строения также выделяется две подгруппы. К подгруппе 2^а относятся крупные и средние по размерам линзо-, пластообразные залежи со сложными контурами рудных тел и изменчивой мощностью, с ровной кровлей, но неровной подошвой, наличием безрудных или некондиционных участков (Висловское, Красная шапочка, Кальинское, Сосьвинское в России, Халимба в Венгрии и др.). К этой же подгруппе принадлежат крупные залежи нефелиновых руд (Хибинская группа месторождений). Подобные месторождения разведуются до категории В сетью скважин (150—100)×(100—50) м и до категории С₁ — (300—200)×(200—100) м.

Подгруппа 2^б объединяет средние по размерам карстово-котловинные залежи сложного строения с изменчивой мощностью и невыдержанным качеством бокситов (Краснооктябрьское), а также крупные и средние массивы нефелиновых сиенитов с относительно выдержанными параметрами качества (Кия-

Шалтырское, Горячегогорское и др.). Эти месторождения разведуются обычно по квадратной сети 100×100 м до категории В и 200×200 м — до категории С₁.

В 3-ю группу также входят месторождения двух подгрупп. В общем, к данной группе относятся бокситовые месторождения средних и небольших размеров, с линзами гнездообразной формы, с резко меняющимися мощностью и качеством (Барзасское, Мугайское, Чадобецкое и др.). Месторождения обеих подгрупп целесообразно разведывать до категории С₁ сетью скважин $(100—50) \times (100—50)$ м (средние по размерам месторождения подгруппы 3^а) и $(25—50) \times (25—50)$ м (мелкие тела и месторождения подгруппы 3^б).

Месторождения меди разведуются буровыми скважинами в сочетании с горными выработками. Для целей разведки они объединены в пять подгрупп. К подгруппе 1^а относятся обычно стратиформные месторождения (Джезказган в Казахстане, Мансфельд в Германии, Айнак в Афганистане) и наиболее выдержанные по мощности и качеству участки ликвационных медно-никелевых месторождений (Норильские месторождения в России, Садбери в Канаде и др.). Такие объекты разведуются обычно буровыми скважинами по квадратной или треугольной (ромбической) сети: 75×75 м до категории А, 150×150 м В и 300×300 м — С₁. Подгруппа 1^б включает крупные штокверковые месторождения с относительно равномерным распределением меди (Коунрад). Изменчивость месторождений этого типа несколько выше, поэтому и применяемые для разведки сети более густые, чем для подгруппы 1^а (но главным образом для категорий В и С₁) 75×75 м по категории А, 100×100 м — В и 100×150 м — С₁.

Месторождения 2-й и 3-й групп разведуются горно-буровыми системами. К подгруппе 2^а принадлежат крупные и средние пласто-, линзо- и жиллообразные тела невыдержанной мощности, с относительно неравномерным распределением меди. В основном это колчеданные месторождения (Гайское в России, Рио-Тинто в Испании, Брокен-Хилл в Австралии и др.), а также гидротермальные (Чатыркульское) и стратиформные со сложным распределением окисленных руд (Удокан). Подобные месторождения разведуются до категорий В и С₁ по сети соответственно 50×75 и 100×150 м. Объекты подгруппы 2^б — крупные и средние по размерам штокверки и штокообразные тела неоднородного строения и с неравномерным распределением меди

(Кальмакыр, Бошекуль в СНГ, Эль-Сальвадор в Чили и др.) — разведуются до категории В по сети 50×100 м, а до категории C_1 , — по сети 100×200 м.

К 3-й группе относятся средние и небольшие по размерам линзо-, пласто-, жило- и штокообразные тела с изменчивой мощностью и невыдержанным содержанием меди или с интенсивным развитием разрывной тектоники (Уруп, Красногвардейское, Джусинское и др.). Разведка этих месторождений ведется только до категории C_1 по сети $(50-100) \times (25-50)$ м.

Свинцово-цинковые месторождения характеризуются значительно большей, чем медные, изменчивостью свойств, поэтому для их разведки даже на месторождениях 1-й группы необходимо применение горных выработок. В 1-ю группу включают наиболее крупные и выдержанные тела плитообразной формы стратиформных месторождений (Миргалимсай в Казахстане, Седмочисленица в Болгарии, Олькуш в Польше) с относительно равномерным распределением полезных компонентов. Запасы категории А на месторождениях данного типа могут выделяться при расположении разведочных выработок (горных и буровых) по сети $(40-50) \times (40-50)$ м. Запасы категорий В и C_1 — могут оконтуриваться на основании бурения по сети $(80-100) \times (80-100)$ м (категория В) и $(160-200) \times (160-200)$ м (категория C_1).

Ко 2-й группе принадлежат крупные и средние линзо- и пластообразные залежи колчеданно-полиметаллических месторождений, отличающихся неоднородным строением, невыдержанной мощностью и неравномерным распределением свинца и цинка (Риддер-Сокольное, Орловское, Тишинское, Горевское в Казахстане, Флин-Флон в Канаде, Эргани в Турции и др.), а также лентовидные залежи и жилообразные тела некоторых колчеданных и скарновых месторождений (Белоусовское, Алтын-Топкан в СНГ, Трепча в Югославии и др.). Запасы категории В на месторождениях этого типа выделяются при размещении горных выработок и буровых скважин по сети $(50-75) \times (50-75)$ м, категории C_1 — $(100-150) \times (100-150)$ м.

Месторождения 3-й группы обычно представлены средними и небольшими по размерам телами линзо- и пластообразной (жилообразной) формы с резко изменчивой мощностью и невыдержанным распределением свинца и цинка (Садон, Рубцовское, Кансай и другие в СНГ, Мажарово в Болгарии, Пршибрам в Чехии, Фрайберг в Германии). Эти месторождения целе-

сообразно разведывать до категории C_1 буровыми скважинами, образующими сеть с параметрами $(50—60) \times (30—40)$ м, и горными выработками — штреками и штольнями, непрерывно прослеживающими рудное тело по простиранию или расположенными на расстоянии 40—60 м по падению, ортами и рассечками, которые должны располагаться через 20—30 м по простиранию, а также восстающими — через 80—120 м.

На свинцово-цинковых месторождениях в качестве рядового опробования целесообразно применение ядерно-физических методов; горные выработки должны опробоваться по двум стенкам, пробы в прослеживающих выработках необходимо размещать на расстоянии 2—4 м друг от друга.

Оловянные месторождения, имеющие промышленное значение, относятся ко 2-й и 3-й группам по сложности геологического строения. Для целей разведки во 2-й группе выделяются две подгруппы. Подгруппа 2^а включает крупные штокверки и минерализованные зоны (Депутатское, Фестивальное, Перевальное, Солнечное в России, Боливар-Потоси в Боливии и др.) сложной формы с неравномерным распределением олова. Подсчет запасов по категории В на месторождениях этого типа возможен только при применении горных работ. Выработки, прослеживающие рудное тело по простиранию (штольни, штреки), должны проходиться на расстояниях 60—80 м по падению тела, прослеживающие по падению (восстающие) — через 80—120 м по простиранию, а поперечные (орты, рассечки) — через 30—40 м по простиранию. В качестве дополнительного технического средства могут использоваться скважины, буримые по сетке $(40—60) \times (40—60)$ м. Запасы категории C_1 на этих месторождениях могут выделяться по результатам бурения скважин по сетке $(80—100) \times (80—100)$ м.

Подгруппа 2^б объединяет крупные жильные месторождения (Дубровское, Хрустальное в России, Корнуолл в Великобритании, Маучи в Мьянме). При разведке месторождений данной подгруппы оконтуривание запасов категории В возможно только по результатам горных работ. Прослеживающие горизонтальные выработки должны проходиться через 60—80 м, прослеживающие вертикальные или наклонные — через 80—120 м, т.е. так же, как и на месторождениях подгруппы 2^а, но орты и рассечки — через 20—30 м. Буровые скважины для оконтуривания запасов категории В применять не разрешается. Запасы категории C_1 могут быть подсчитаны по данным бурения скважин, располагаемых по сетке $(80—120) \times (60—80)$ м.

К 3-й группе принадлежат небольшие жильные, главным образом гидротермальные месторождения с крайне невыдержанной мощностью и условиями залегания и весьма неравномерным распределением олова (Верхнее, Иультин, Валькумей и др.). Подобные месторождения могут разведываться лишь до категории C_1 , в основном с применением горных выработок: штреков — через 60—80 м, восстающих — через 80—120 м, ортов и рассечек — через 10—20 м. Скважины (как дополнительное средство) бурят по сетке $(60—80) \times (40—50)$ м.

Опробование месторождений олова в горных выработках проводится по двум стенкам, расстояния между пробами не должны превышать 2-4 м.

В качестве рядового опробования целесообразно использование ядерно-физических методов.

Все промышленные *месторождения ртути* по сложности геологического строения относятся к 4-й группе. Их разведка осуществляется только до категории C_1 и только горными выработками: штреками и штольнями через 40—60 м по падению, восстающими — через 60—80 м по простиранию и ортами (рассечками) — через 15—30 м.

Золоторудные месторождения чрезвычайно многообразны как по условиям образования, так и по морфологии и условиям залегания. Для целей разведки золоторудные месторождения в зависимости от изменчивости морфологии, распределения золота и размеров рудных тел разделяются на восемь подгрупп (четыре подгруппы во 2-й группе, три — в 3-й и 4-я группа). Однако несмотря на все многообразие золоторудных месторождений разведка их в общем однотипна — все месторождения могут разведываться только горными выработками (буровые скважины играют вспомогательную роль при оценке общих размеров и условий залегания рудных тел). При разведке месторождений 2-й группы до категории В рудные тела должны быть непрерывно прослежены горными выработками по простиранию и падению. При этом выработки, прослеживающие рудные тела по простиранию, должны располагаться на расстоянии 40—60 м по падению, прослеживающие по падению (восстанию) — через 30—120 м по простиранию. Поперечные выработки (орты, рассечки) должны отстоять друг от друга на 10—30 м. Для разведки до категории C_1 на объектах данной группы расстояния между прослеживающими выработками увеличиваются в 1,5—2 раза.

Месторождения 3-й группы разведуются до категории С₁ также при непрерывном прослеживании рудных тел по простиранию и падению. Расстояния между прослеживающими горизонтальными выработками составляет 40—60 м, между восстающими — 80—120 м, между рассечками — 10—30 м.

В 4-ю группу входят золоторудные месторождения, представленные мелкими телами гнездообразной и жильной форм. Они также разведуются до категории С₁ при непрерывном прослеживании рудных тел по простиранию и падению. Горизонтальные прослеживающие выработки проходят через 30—40 м по падению, поперечные (орты, рассечки) — через 10 м; кроме того каждое тело должно быть вскрыто не менее чем одной наклонной (восстающей) выработкой.

Опробование золоторудных месторождений в горных выработках ведется по двум стенкам, пробы размещаются на расстояниях не более 1—4 м друг от друга.

8.2. РАЗВЕДКА РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Для целей разведки россыпные месторождения группируются в зависимости от размеров, изменчивости мощности и распределения полезных компонентов или минералов, т.е. по тем же принципам, что и коренные месторождения. Они разведуются линиями (профилями) скважин ударно-канатного бурения большого диаметра (200—400 мм) и поверхностными горными выработками — горизонтальными (траншеями) и вертикальными (шурфами). Расстояния между линиями и выработками в линии определяются главным образом видом полезного ископаемого и принадлежностью месторождения к той или иной группе по сложности геологического строения. Так, при разведке до категории А титановых ильменитовых россыпей 1-й группы скважины располагаются в линии через 20 м, а при разведке цирконовых россыпей — через 50—100 м, для категории В эти расстояния увеличиваются до 40 м для ильменитовых и до 100—200 м для цирконовых россыпей, а для категории С₁ они составят соответственно 40—80 и 200—400 м. Расстояния между линиями одинаковые — для разведки до категории А — 150—200 м, В — 300—400 м и С₁ — 600—800 м.

Россыпные месторождения 2-й группы разведуются как буровыми скважинами, так и горными выработками, при этом

расстояния между разведочными выработками также зависят от вида полезного ископаемого.

Так, при разведке россыпных месторождений золота, платины и олова до категории В траншеи проходят через $(300—400) \times 20$ м (отметим, что первая цифра означает расстояние между линиями, вторая — между выработками в линии), а до категории С₁ — через $(600—800) \times 40$ м. Если разведка ведется скважинами, то расстояния для категории В составят $(150—200) \times (10—20)$ м, а для категории С₁ — $(300—400) \times (10—40)$ м. Вместе со скважинами (или вместо них) могут применяться шурфы, но расстояния между линиями и шурфами в линии остаются теми же, что и для скважин.

Титан-циркониевые россыпи морского генезиса разведываются до категорий В и С₁ скважинами, которые располагают соответственно через $(150—200) \times (50—100)$ и $(300—400) \times (100—200)$ м. Титановые аллювиальные россыпи также разведываются скважинами, но расстояния между линиями и скважинами меньше: для категории В — $(100—150) \times (20—40)$ м, С₁ — $(200—300) \times (40—60)$ м.

При разведке алмазных россыпей рассматриваемой группы до категории В используются траншеи, которые проходят через 200—400 м (они должны полностью пересекать россыпь в поперечном направлении), шурфы увеличенного (более 6 м²) сечения — через $(200—300) \times 20$ м и шурфы нормального (менее 6 м²) сечения — через $(40—80) \times (20—40)$ м; до категории С₁ разведка траншеями ведется по сети $(400—800) \times 20$ м, а шурфами увеличенного и нормального сечения — по сети соответственно $(400—600) \times 20$ и $(80—160) \times (20—40)$ м. Разведка до категории С₁ может также осуществляться скважинами, расстояние между которыми на линии составляет 10—20 м, а между линиями — 40—80 м.

Россыпи 3-й группы имеют промышленное значение для благородных металлов, алмазов, олова и вольфрама. Эти месторождения разведываются до категории С₁ — траншеями через 400—600 м, скважинами и шурфами — через $(100—200) \times (10—20)$ м.

8.3. РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Промышленные месторождения апатитовых и фосфоритовых руд по сложности геологического строения относятся к

1-й и 2-й группам. В 1-й группе для целей разведки выделяют две подгруппы. Подгруппа 1^а объединяет осадочные месторождения фосфоритов пластовой формы с горизонтальным или слабонаклонным залеганием, выдержанной мощностью и относительно устойчивым качеством (Егорьевское, Щигровское, Полнинское, Вятско-Камское месторождения желваковых фосфоритов, Кингисеппское, Тоолсе — ракушечных). Эти месторождения разведуются буровыми скважинами, располагаемыми по изометричной (квадратной или ромбической) сети с параметрами для категории А — 100—200 м, В — 200—400 м и С₁ — 400—800 м.

Подгруппа 1^б включает крупные магматические апатит-нефелиновые месторождения пласто- и линзообразной формы с относительно устойчивыми мощностью и качеством руд (Куки-свумчорр, Расвумчорр, Юкспор). Месторождения этой подгруппы разведуются также буровыми скважинами, но по прямоугольной сети: для категорий А, В и С₁ ее параметры составят соответственно (100—200)×(50—100), (200—400)×(100—150) и (400—800)×(150—200) м.

Во 2-й группе различают три подгруппы. Подгруппу 2^а составляют сложные по форме залежи изменчивой мощности с невыдержанным качеством апатитовых и фосфоритовых руд (месторождения Коашва апатит-нефелиновых руд, Ковдорское апатитовое и др.), а подгруппу 2^б — крутопадающие пласты и крупные линзообразные залежи изменчивой мощности и качества (фосфоритовое месторождение Каратау, апатит-нефелиновое Ньоркпахское). Месторождения этих подгрупп разведуются скважинами по прямоугольной сети, расстояние между которыми возрастает от (75—150)×(50—75) м для категории В до (150—300)×(75—100) м для категории С₁.

В подгруппу 2^а входят массивы изверженных пород с неравномерной вкрапленностью апатита (Ошурковское месторождение) при сложной морфологии. Разведка объектов данного типа проводится изометричной сетью скважин, расстояние между которыми составляет для категории В (100—200)×(100—200) м, а С₁ — (200—400)×(200—400) м.

Месторождения ископаемых солей разведуются буровыми скважинами. Промышленное значение имеют месторождения, относящиеся в основном к 1-й и 2-й группам по сложности геологического строения; месторождения 3-й группы разведуются только в случае особо ценного состава солей.

Для целей разведки в 1-й группе выделяются две подгруппы. К подгруппе 1^а принадлежат весьма протяженные (более 10 км) пласты солей с выдержанной мощностью и качеством (Славянское, Артемовское, Усольское, Братское месторождения каменной соли, Старобинское калийных солей, некоторые участки Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей). Они разведуются квадратной сетью скважин с параметрами для категорий А, В и С₁ соответственно 800—1200, 1200—1600 и 1600—2400 м.

Пласто- и линзообразные залежи протяженностью менее 10 км, но более 1 км относятся к подгруппе 1 при условии выдержанной мощности и качества (Белбажское, Тут-Булакское месторождения каменной соли, Тюбеганское калийно-магниевого солей). Их разведка проводится изометричной, но более густой сетью скважин: по категории А — 400—800 м, В — 800—1200 м, С₁ — 1200—2000 м.

Во 2-ю группу входят месторождения, в пределах которых чередуются линзообразные залежи солей различного состава с изменчивой мощностью и сравнительно выдержанным качеством (Шедокское каменной соли, Стебникское калийно-магниевого солей), а также представленные крупными штоко-, и куполообразными залежами, невыдержанными по мощности и качеству (Солотвинское, Сергеевское, Гаурдакское каменных солей) и пластовыми залежами простого строения, но со сложными горно-геологическими условиями (Балахонцевский и Дурыманский участки Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей). Подобные месторождения (или участки) разведуются по квадратной сети с параметрами для категорий В и С₁ соответственно 400—800 и 800—1200 м.

Разведка месторождений 3-й группы осуществляется также буровыми скважинами, но только до категории С₁ и по значительно более густой сети: (100—400)×(100—400) м. Эта группа объединяет месторождения, связанные с соляно-купольными диапировыми структурами — залежи с резко изменчивой мощностью и исключительно невыдержанным качеством, но с ценным составом солей (борно-калийное месторождение Индер и др.).

По сложности геологического строения месторождения графита соответствуют 1-, 2- и 3-й группам классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. К 1-й группе принадлежат метаморфические месторождения, представленные пластовыми и пластообразными залежами с относительно выдержанной мощностью, равномер-

ным распределением графитного углерода и выдержанными условиями залегания (Завальевское, Тайгинское, Мурзинское). При горизонтальном залегании рудных тел эти месторождения разведуются изометричной (квадратной) сетью скважин, расстояния между которыми изменяются от 75—100 м для категории А, 150—200 м для категории В до 300—400 м для категории С₁. При наклонном залегании применяется анизотропная сеть с параметрами для категории А (100—150)×(25—50) м, В — (100—150)×(50—75) м и С₁ — (200—300)×(50—75) м. Основным техническим средством разведки месторождений графита 1-й группы являются буровые скважины; горные выработки легкого типа (канавы, шурфы) используются при разведке приповерхностных частей месторождений.

Ко 2-й группе также относятся метаморфические пласто- и линзообразные залежи с относительно выдержанной мощностью, равномерным распределением графитного углерода и нарушенным залеганием (Курейское, Безымянное месторождения). Они разведуются буровыми скважинами, отстоящими друг от друга для категории В на (50—10)×(25—50) м, а для категории С₁ — на (100—200)×(25—50) м.

В 3-ю группу входят контактово-метасоматические, собственно магматические, реже — метаморфические месторождения, представленные линзами, штоками, жилами и мелкими пластообразными телами с невыдержанной мощностью и неравномерным распределением графитного углерода (Петровское, Союзное, Троицкое, Ботогольское, Тас-Казганское и др.). Разведка их проводится горно-буровыми системами до категории С₁ по сети (25—100)×(25—50) м.

Месторождения строительного и облицовочного камня по сложности геологического строения относятся только к 1-й и 2-й группам и разведуются буровыми скважинами. В 1-й группе выделяются три подгруппы. Подгруппу 1^а представляют массивы изверженных пород однородного состава с выдержанными физико-механическими свойствами, ненарушенным или слабонарушенным залеганием (Ново-Даниловское и Емельяновское гранитов, Крессовское диоритов и гранодиоритов, Головинское и Слипчицкое габбро-норитов и лабрадоритов). Эти месторождения разведуются до категорий А, В и С₁ по сети соответственно (200—300)×(200—300), (300—400)×(300—400) и (400—600)×(400—600) м.

Подгруппа 1⁶ объединяет горизонтальные или пологопадающие пластообразные тела, не нарушенные или слабо нарушенные тектоническими процессами (месторождения осадочных, эффузивных и метаморфических горных пород — Болнисское туфов, Алымское и Газганское мраморов, Геналдобское доломитов и др.). Для разведки объектов этого типа используются следующие сети: $(100—200) \times (100—200)$ м до категории А, $(200—300) \times (200—300)$ м — В и $(300—400) \times (300—400)$ м — С₁.

Подгруппу 1^а составляют моноклинально залегающие, крутопадающие или смятые в складки пласты и пластообразные залежи, выдержанные по структуре, мощности и качественным показателям, слабо затронутые разрывными нарушениями (Коллендское, Чолурское, Эклендинское месторождения мраморов, Кнорринг конгломератов, Больше-Каменское известняков). Разведка подобных месторождений осуществляется также буровыми скважинами, но по анизотропной сети: $(100—200) \times (25—50)$ м — для категории А, $(200—300) \times (50—100)$ м — В и $(300—400) \times (100—150)$ м — С₁.

Ко 2-й группе принадлежат линзо- и пластообразные залежи, штоки, дайки, жилы с невыдержанным качеством, интенсивно тектонически нарушенные или подверженные процессам карстообразования (Артавадзское, Артикское мраморов, Майкульское гранитов и др.). Объекты этой группы разведуются буровыми скважинами до категории В по сети $(50—100) \times (50—100)$ м и С₁ — $(100—200) \times (100—200)$ м.

Месторождения глинистых пород по сложности геологического строения объединяются в три группы. Для целей разведки в 1-й группе выделяется две подгруппы. В подгруппу 1^а входят крупные и средние по размерам, выдержанные по структуре, мощности и качеству пласты, пласто- и линзообразные залежи легкоплавких глин и суглинков озерного, ледникового, элювиального и морского генезиса (месторождения Дуба-Юровское, Заря, Уромское, Ингичке). Они разведуются буровыми скважинами по сети $(100—150) \times (100—150)$ м для категории А, $(150—200) \times (150—200)$ м — для категории В и $(300—400) \times (300—400)$ м — С₁. Подгруппа 1^б включает месторождения тугоплавких и бентонитовых глин морского происхождения, выдержанной мощности и качества (Евсугское тугоплавких глин, Черкасское — бентонитовых глин). Разведка их осуществляется по более густой квадратной сети: 50—100, 100—200 и 200—300 м соответственно для категорий А, В и С₁.

Во 2-й группе месторождений глинистых пород также различают две подгруппы. К подгруппе 2^а относятся крупные и средние пласто- и линзообразные залежи, не выдержанные по структуре, мощности и качеству и содержащие прослои некондиционных пород, т.е. большинство месторождений огнеупорных и тугоплавких глин озерного, озерно-болотного и прибрежно-морского генезиса (Курдюмовское тугоплавких и огнеупорных глин, Мурзинское и Часовъярское огнеупорных, Печорское тугоплавких). Для их разведки используются буровые скважины, которые располагаются по квадратной сети на расстояниях 50—100 м для категории В и 100—200 м — С₁.

Подгруппа 2^б объединяет крупные и средние пласто- и линзообразные залежи, не выдержанные по структуре, мощности и качеству (Саригюхское месторождение бентонитовых глин, Гончаровское глин и суглинков для производства цемента и др.). Для разведки подобных объектов требуется более густая сеть: 25—50 м — для категории В и 50—150 м — С₁.

К 3-й группе принадлежат месторождения с резко изменчивой мощностью, структурой и качеством. Обычно это месторождения огнеупорных глин (Троицко-Байновское, Шрошинское и др.). Разведка их осуществляется только до категории С₁ скважинами, которые размещаются по квадратной сети на расстоянии 25—50 м друг от друга.

Среди *месторождений слюд* (мусковита, флогопита, вермикулита) известны объекты только 2-, 3- и 4-й групп. Они разведываются горными выработками в сочетании с буровыми скважинами.

Для целей разведки во 2-й группе выделяются три подгруппы. Подгруппа 2^а включает крупные залежи флогопита и вермикулита простого строения, большой мощности и протяженности (Ковдорское месторождение). При разведке подобных месторождений до категории В каналы и орты располагаются через 40—60 м по простиранию, а скважины бурят по сети (40—60)×(40—60) м; для категории С₁ сеть горных выработок разрежается до (80—120)×(120—160) м, а скважин — до (80—120)×(40—60) м. Для месторождений слюд (в отличие от многих других полезных ископаемых) ГКЗ РФ рекомендует сети выработок и для категории С₂ — горные выработки проходят через 120—160 м скважины размещают по сети (120—160)×(60—80) м.

К подгруппе 2^б принадлежат крупные зоны и залежи флогопита и вермикулита сложного строения (Потанинское и Ку-

лантаусское месторождения вермикулита, Гулинское флогопита, некоторые месторождения флогопита Алданской группы). Разведка их до категории В осуществляется горными выработками (канавами, рассечками), которые проходят через 40—20 м по простиранию, а также скважинами — по сети $(20-40) \times (30-40)$ м, а до категории С₁ — горными выработками, отстоящими друг от друга на 40—80 м, и скважинами — по сети $(40-80) \times (30-40)$ м, для категории С₂ как горные выработки, так и скважины размещают через 40—80 м.

В подгруппу 2^а входят залежи мелкочешуйчатого мусковита сложного внутреннего строения с относительно равномерным распределением слюды (Кулетское месторождение). Разведка объектов данной подгруппы до категории С₂ не регламентируется; при разведке до категорий В и С₁ горные выработки (канавы) располагаются соответственно через 60—100 и 120—160 м по простиранию залежей, а скважины — по сети $(60-100) \times (40-80)$ и $(120-160) \times (80-160)$ м.

К 3-й группе относятся крупные жилы и зоны мусковита, крупные и средние жилы и зоны флогопита, средние по размерам залежи вермикулита с резко изменчивой мощностью и условиями залегания и весьма неравномерным распределением слюды (Мамско-Чуйская группа месторождений мусковита, большинство Алданских месторождений флогопита, Игнашинское вермикулита). Подобные месторождения разведываются до категории С₁ горными выработками, которые проходят через 20-40 м, и скважинами — по сетке $(20-40) \times (30-40)$ м; для категории С₂ эти параметры составляют 40—60 м и $(40-60) \times (30-40)$ м.

В 4-й группе месторождений слюд также различают две подгруппы. Подгруппа 4^а объединяет средние и мелкие жилы и зоны мусковита очень сложного строения с резко изменчивыми мощностью и условиями залегания, а также весьма неравномерным распределением слюды (некоторые месторождения Мамско-Чуйского района). Они разведываются до категории С₁ горными выработками, располагающимися через 10—40 м и скважинами — по сети $(20-40) \times (20-40)$ м. Для разведки по категории С₂ сеть горных выработок несколько разрежается (до 20—40 м), скважины бурят по такой же сети.

В подгруппу 4^б включены глубоко залегающие крупные и средние мусковитовые и флогопитовые тела гнездообразной формы, отличающиеся очень сложным строением и весьма не-

равномерным распределением слюд. Для разведки по категории C_1 расстояние между горными выработками составляет 10—20 м, а по категории C_2 — 20—30 м; сеть буровых скважин имеет такие же параметры.

8.4. РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

Месторождения углей и горючих сланцев по сложности геологического строения относятся главным образом к 1-й и 2-й группам. К 1-й принадлежат мощные и очень мощные (до нескольких десятков метров) пласты с пологим ненарушенным или слабонарушенным залеганием (Канско-Ачинский, Экибастузский бассейны, Зейское, Ангренское месторождения), а также простые складчатые или крупноблоковые структуры с выдержанными элементами залегания и преобладанием выдержанных и относительно выдержанных пластов (средняя и приплатформенная части Донецкого, участки Печорского, Кузнецкого, Карагандинского, Челябинского бассейнов).

Во 2-ю группу входят мощные и средней мощности относительно выдержанные и невыдержанные пласты с пологим ненарушенным залеганием (Днепровский, Подмосковский бассейны, Чульмаканское месторождение Южно-Якутского бассейна), а также выдержанные и относительно выдержанные пласты, слагающие сложноскладчатые и интенсивно осложненные разрывами структуры (участки Донецкого, Печорского, Кузнецкого, Карагандинского бассейнов).

Месторождения углей 3-й группы имеют весьма ограниченное промышленное значение. Это либо невыдержанные пласты, либо выдержанные и относительно выдержанные, но с очень сложными условиями залегания и мелкоблоковой структурой (Партизанский, Угловский бассейны, отдельные участки крупных бассейнов).

Разведка угольных и сланцевых месторождений осуществляется буровыми скважинами с обязательным комплексом каротажных (в основном, электрометрических) исследований. Главным фактором, определяющим параметры разведочной сети, является размер тектонически однородного блока и степень выдержанности пластов. На месторождениях 1-й группы выдержанные пласты разведываются по категории А сетью скважин $(600—800) \times (200—400)$ м, по категории В — $(800—1200) \times (400—600)$

м, а C_1 — $(1600—2000) \times (800—1000)$ м; для относительно выдержанных пластов эти параметры составляют соответственно $(300—400) \times (150—250)$, $(400—600) \times (200—300)$ и $(800—1000) \times (250—500)$ м, а для невыдержанных, разведка которых ведется до категорий В и C_1 — $(250—300) \times (150—250)$ и 500×300 м.

При разведке месторождений 2-й группы параметры разведочной сети для категории В такие же, как и для категории А на месторождениях 1-й группы.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем заключаются особенности разведки месторождений металлических полезных ископаемых (на примере месторождений железа и марганца)?
2. Каковы особенности разведки россыпных месторождений?
3. Расскажите об особенностях разведки месторождений неметаллических полезных ископаемых (на примере фосфатного сырья и минеральных солей).
4. Охарактеризуйте особенности разведки месторождений горючих ископаемых.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борзунов В.М. Разведка и промышленная оценка месторождений нерудных полезных ископаемых. — М.: Недра, 1982.
2. Вахромеев С.А. Месторождения полезных ископаемых. — М.: Недра, 1979.
3. Волков В.Н. Геология и охрана ресурсов ископаемых углей (месторождения мощных угольных пластов). — Л.: Недра, 1985.
4. Вольфсон Ф.И., Некрасов Е.М. Основы образования рудных месторождений. — М.: Недра, 1986.
5. Геология и разведка месторождений полезных ископаемых: Учеб. для вузов/Под ред. В.В. Ершова. — М.: Недра, 1989.
6. Еремин И.В., Лебедев В.В., Цикарев В.А. Петрография и физические свойства углей. — М.: Недра, 1980.
7. Каждан А.Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Научные основы поисков и разведки полезных ископаемых. — М.: Недра, 1984.
8. Каждан А.Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Производство геологоразведочных работ. — М.: Недра, 1985.
9. Каждан А.Б., Кобахидзе Л.П. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых. — М.: Недра, 1985.
10. Крейтер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. — М.: Недра, 1969.
11. Курс рудных месторождений/Под ред. В.И. Смирнова. — М.: Недра, 1986.
12. Киевленко Е.Я., Сенкевич Н.Н. Геология месторождений поделочных камней. — М.: Недра, 1983.
13. Миронов К.В. Справочник геолога-угольщика. — М.: Недра, 1982.
14. Неметаллические полезные ископаемые СССР/Под ред. В.П. Петрова. — М.: Недра, 1984.
15. Петрология органических веществ в геологии горючих ископаемых/И.И. Амосов и др. — М.: Наука, 1987.
16. Петрография углей СССР /Под ред. И.Б. Волковой. — Л.: Недра, 1986.
17. Петрология углей/Перевод с англ. под ред. И.В. Еремина. — М.: Мир, 1978.
18. Промышленные типы месторождений неметаллических полезных ископаемых / А.Е. Карякин, П.А. Страна, Б.Н. Шаронов и др. — М.: Недра, 1985.
19. Рудные месторождения СССР / Под ред. В.И. Смирнова. — М.: Недра, 1980.
20. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. — М.: Недра, 1982.
21. Справочник по поискам и разведке месторождений цветных металлов/ А.И. Кривцов, И.З. Самонов, Е.И. Филатов и др. — М.: Недра, 1985.
22. Сборник руководящих материалов по геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых / Под ред. Н.А. Быхова. — М.: 1985.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Введение	7
Глава 1	
Общие сведения о месторождениях полезных ископаемых	15
1.1. Основные понятия и определения	15
1.2. Горно-геологические условия освоения месторождений полезных ископаемых	20
1.2.1. Морфологические характеристики тел полезных ископаемых ...	20
1.2.2. Качественные характеристики полезных ископаемых	30
1.2.3. Гидрогеологические и инженерно-геологические факторы и показатели освоения месторождений	42
Глава 2	
Генетические типы месторождений полезных ископаемых	51
2.1. Условия образования месторождений	51
2.2. Магматические месторождения	64
2.3. Пегматитовые месторождения	73
2.4. Гидротермальные месторождения	79
2.5. Контактново-метасоматические месторождения	88
2.6. Метаморфизованные и метаморфические месторождения	97
2.7. Вулканогенно-осадочные месторождения	102
2.8. Гидротермально-осадочные (стратиформные) месторождения	107
2.9. Месторождения выветривания	111
2.10. Осадочные месторождения	122
Глава 3	
Промышленные типы месторождений металлических полезных ископаемых и георногеологические условия их освоения	143
3.1. Железо	145
3.2. Марганец	166
3.3. Хром	171
3.4. Никель и кобальт	175
3.5. Вольфрам и молибден	185
3.6. Алюминий	195
3.7. Медь	204
3.8. Олово	221
3.9. Свинец и цинк	227

3.10. Сурьма и ртуть	233
3.11. Золото	240
3.12. Уран	254
3.13. Бериллий	257
3.14. Тантал и ниобий	259
3.15. Литий	261
3.16. Редкоземельные элементы	262

Глава 4

Промышленные типы неметаллических полезных ископаемых

и горногеологические условия их освоения

4.1. Драгоценные, поделочные и технические камни	276
4.2. Графит	287
4.3. Слюда	290
4.4. Асбест	296
4.5. Тальк	302
4.6. Флюорит	305
4.7. Магnezит и брусит	307
4.8. Цеолиты	309
4.9. Минеральные соли	312
4.10. Фосфатное сырье	315
4.11. Серное сырье	320
4.12. Диатомиты, трепелы, опоки	324
4.13. Естественные каменные строительные материалы	326
4.14. Карбонатные породы	333
4.15. Песок и песчано-гравийные материалы	339
4.16. Глины и каолины	347
4.17. Сапропели	356
4.18. Техногенные месторождения	365

Глава 5

Твердые горючие ископаемые

5.1. Общие сведения	377
5.2. Основные показатели качества, состава и свойств горючих ископаемых	383
5.3. Классификация и основные направления использования углей	404
5.4. Морфология угольных пластов	439
5.5. Угленосная толща	451
5.6. Общая характеристика угольных месторождений	453

Глава 6

Разведка месторождений полезных ископаемых

6.1. Система геологического изучения недр	469
6.2. классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых	471
6.3. Геологическая съемка и поиски	476
6.4. Методология разведки месторождений полезных ископаемых	479
6.4.1. Задачи разведки	479

6.4.2. Принципы разведки	481
6.4.3. Основные задачи стадий разведки	488
6.4.4. Методы разведки	493
6.4.5. Технические средства разведки	494
6.4.6. Системы разведки	499
6.4.7. Расположение разведочных выработок	501
6.4.8. Опробование	508
6.4.9. Оконтуривание тел полезных ископаемых	516
6.4.10. Гидрогеологические и инженерно-геологические исследования в процессе разведки	521
6.4.11. Геологическая документация	522

Глава 7

Геолого–промышленная оценка месторождений

7.1. Задачи оценки	525
7.2. Понятие о кондициях	527
7.3. Подготовленность месторождения для промышленного освоения	530
7.4. Подсчет запасов	531
7.5. Моделирование месторождений полезных ископаемых на ЭВМ	537

Глава 8

Особенности разведки месторождений

полезных ископаемых

различных промышленно–генетических типов

8.1. Разведка месторождений металлических полезных ископаемых	545
8.2. Разведка россыпных месторождений	557
8.3. Разведка месторождений неметаллических полезных ископаемых	558
8.4. Разведка месторождений твердых горючих ископаемых	565

Список литературы

567

Валерий Александрович Ермолов
Галина Борисовна Попова
Владимир Васильевич Мосейкин
Лев Николаевич Ларичев
Геннадий Николаевич Харитоненко

VI

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Режим выпуска «стандартный»

Редактор текста *Е.Н. Толстая*
Набор *Т.Н. Абросимова*
Компьютерная верстка и подготовка
оригинал-макета *Е.В. Воронцова*
Дизайн серии *Е.Б. Капралова*
Зав. производством *Н.Д. Урбузикина*

Диапозитивы изготовлены в Издательстве МГГУ

Подписано в печать 11.01.2009. Формат 60×90/16.
Бумага офсетная № 1. Гарнитура «Times». Печать
офсетная. Усл. печ. л. 36,0. Тираж 500 экз. Заказ 570

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА»
ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

*Оригинал-макет подготовлен в Издательстве
«Горная книга»*

Отпечатано в ОАО «Московская типография № 6»
115088 Москва, ул. Южнопортовая, 24

Магниевого штампы изготовлены в Первой
Образцовой типографии

**119991 Москва, ГСП-1, Ленинский проспект, 6,
издательство «Горная книга»,
Издательство МГГУ;
тел. (495) 236-97-80; факс (495) 956-90-40;
тел./факс (495) 737-32-65**

ГЕОЛОГИЯ

