

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

*Допущено Государственным комитетом СССР
по народному образованию в качестве учебника
для студентов горных специальностей вузов*

Под редакцией доктора технических наук
В. В. ЕРШОВА



МОСКВА „НЕДРА“ 1989

ББК 26.325
Г 36
УДК 553 (075.3)

Авторы: *В. В. Ершов*, д-р техн. наук, *И. В. Еремин*, д-р геол.-минер. наук, *Г. Б. Попова*, канд. геол.-минер. наук, *Е. М. Тихомиров*, канд. техн. наук

Рецензенты: кафедра геологии и разведки месторождений полезных ископаемых Грузинского политехнического института, д-р геол.-минер. наук *В. Н. Павлинов*

Геология и разведка месторождений полезных ископаемых: Учеб. для вузов/Под ред. В. В. Ершова.— М.: Недра, 1989.— 399 с.: ил.

ISBN 5-247-00934-7

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. Рассмотрены свойства, области применения, запасы металлических, неметаллических и горючих ископаемых. Изложены методика и технология геологоразведочных работ, геолого-промышленная оценка месторождений на разных стадиях их промышленного освоения.

Для студентов горных специальностей вузов.

Г $\frac{1804050000-228}{043(01)-89}$ 83—89

ББК 26.325

ISBN 5-247-00934-7

© Издательство «Недра», 1989

ПРЕДИСЛОВИЕ

В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года перед геологической отраслью поставлены 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, унифицированная генетическая систематика месторождений, а также состояние и вопросы использования сырьевой базы различных видов твердых полезных ископаемых — металлических, неметаллических и горючих. Заключительный раздел книги содержит сведения о разведке и геолого-промышленной оценке месторождений полезных ископаемых.

Введение, части I и II написаны Г. Б. Поповой, части III и IV — В. В. Ершовым, часть V — И. В. Ереминым, часть VI — Е. М. Тихомировым.

Авторы выражают благодарность Л. Ф. Марковой, Н. С. Смирновой и В. А. Затырко 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 детального 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 математики, особенно таких ее разделов, как теория вероятностей и математическая статистика, необходимы для обработки геологоразведочных данных и обоснованной интерпретации полученных результа-

тов. 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: кремень, кварц, роговик, кварцит, известняк, глину, каменную соль. Постепенно осваивались и металлы. Первобытные люди научились пользоваться метеорным 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 сводные данные о месторождениях были собраны в средние века. В это время мелкие кустарные разработки уступают место все более крупным рудникам, совершенствуется 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 Берг-коллегию. 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, янтара.

В России после М. В. Ломоносова серьезное значение имели исследования И. И. Лепехина, Н. Я. Озерцковского, М. Е. Голвина, 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), воспитавшее большое количество 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. появилось большое число работ, посвященных 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 развития 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 1882 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. Чернышов, Л. И. Лутугин, П. И. Степанов, труды которых сохранили свое значение до настоящего времени. Из зарубежных исследований большое значение имели работы Ф. Пошелпного, 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 программ индустриализации народного хозяйства, построения социализма в СССР. 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 главнейших 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. Татарина, М. А. Усова и других 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.

Советская 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), подземного выщелачивания (руды меди, урана, минеральные соли), подземной газификации твердых горючих ископаемых (уголь, горючие сланцы) и др.

Наконец, знание условий образования и изменения месторождений полезных ископаемых и их физико-химическое моделирование позволяют 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 геолого-структурного 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. 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.

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?

Часть I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

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, стекол и керамики), промышленное (алмаз, графит, асбест, слюды, драгоценные и поделочные камни, пьезокристаллы, оптические минералы), а также химическое и агрономическое сырье (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.

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 т. д.) и неметаллические (серные, асбестовые, графитовые, апатитовые и др.). По количеству компонентов различают руды монометалльные (мономинеральные), биметалльные (биминеральные) и полиметалльные (полиминеральные).

Понятия «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.

Месторождением полезного ископаемого называется его природное в виде геологических тел скопление в земной коре, 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. К месторождениям полезных ископаемых промышленность предъявляет требования, определяемые технической возможностью и экономической целесообразностью их разработки. Совокупность требований называется **кондициями**. Они не являются постоянными и зависят от экономических условий и состояния техники и технологии добычи и переработки минерального сырья.

Площади распространения полезных ископаемых в порядке их уменьшения разделяются на провинции, области (пояса, бассейны), районы (узлы), поля, месторождения, тела.

Провинция полезных ископаемых представляет собой крупный участок земной коры, относящийся к платформе или складчатой геосинклинальной зоне, со свойственными ему и размещенными в его пределах месторождениями. По этому признаку выделяют провинции Русской и Сибирской платформы, Уральскую (герциниды Урала), Кавказскую (альпиды Кавказа) и т. п. Различают также провинции по видам минерального сырья: металлогенические, угленосные, нефтегазосные. 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 синек-

клизы, в пределах геосинклиналей — антиклинории, синклинории, 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 поясовой 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 $1000 \times (60 - 100)$ км.

Бассейн — это область почти непрерывного распространения пластовых осадочных полезных ископаемых с площадью от нескольких сотен до нескольких сотен 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, Талнахское, Джезказганское и др. Поля полезных ископаемых состоят из месторождений, а последние из тел полезных ископаемых.

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

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.

МОРФОЛОГИЯ И УСЛОВИЯ ЗАЛЕГАНИЯ ТЕЛ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Минеральные агрегаты, представляющие собой полезные ископаемые, залегают в земной коре в виде геологических тел различной формы. Форма, размеры и пространственная ориентировка тел полезных ископаемых среди вмещающих пород определяют их морфологию. Морфологические особенности месторождений полезных ископаемых зависят от условий их образования, а также от геологического строения тех участков земной коры, к которым они приурочены. Изучение морфологии и условий залегания тел полезных ископаемых имеет большое практическое значение, особенно для составления рациональных проектов разведки и эксплуатации месторождений.

Для месторождений твердых полезных ископаемых выделяют три основных морфологических типа тел: изометричные, плитообразные (плоские) и трубообразные.

Изометричные тела приблизительно равновелики в трех измерениях. К ним относятся штоки, гнезда и штокверки (рис. 1).

Штоком называется крупная (от 10 м) изометричная залежь сплошного или почти сплошного минерального сырья. Если размеры таких залежей не превышают 10 м, их называют **гнездами**. В качестве примера можно назвать штоки каменной соли, гнезда хромитов в ультраосновных породах. 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. 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

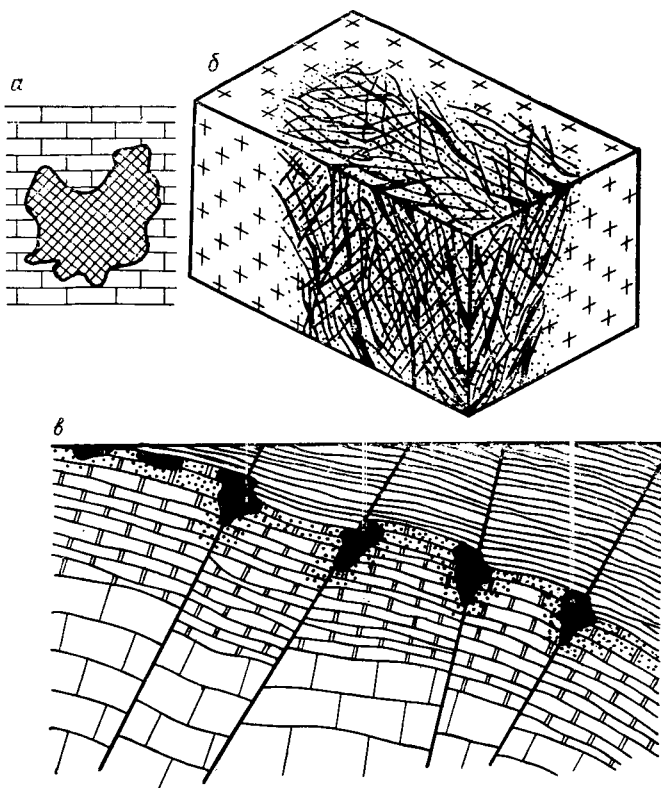


Рис. 1. Формы изометричных тел полезных ископаемых:
 а — шток (план), б — штокверк, в — гнезда (разрез)

однородны по составу и не включают прослоев вмещающих пород, и сложными, состоящими из чередующихся прослоев полезного ископаемого и вмещающих пород.

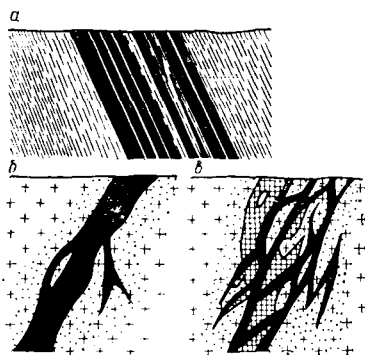
Следует отметить, что в структурной геологии чаще используется более общий термин — слой.

Пласты могут иметь раздувы и пережимы по мощности, простое или сложное выклинивание. 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, vyplненные минеральным веществом полезного ископаемого. Их также считают плитообразными телами, поскольку, протягиваясь по простиранию и на глубину на десятки и сотни метров,

Рис. 2. Формы плитообразных (плоских) тел полезных ископаемых:

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



они характеризуются значительно меньшим третьим измерением — мощностью, которая обычно изменяется от нескольких сантиметров до первых метров.

Залегание жил может быть наклонным, вертикальным, реже горизонтальным. В случае наклонного залегания породы, перекрывающие жилу, называют породами висячего бока, а подстилающие ее — породами лежачего бока. Поверхность, по которой минеральное вещество соприкасается с вмещающей породой, называют *зальбандом*. 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, зон дробления, рассланцевания (см. рис. 2, *б*, *в*).

По деталям морфологии среди жил различают четковидные, камерные, седловидные, лестничные, разлистования и др. (рис. 3).

Для *ветвящихся (сетчатых) жил* типично наличие ответвлений (анофиз), отходящих от основной рудной жилы в сторону

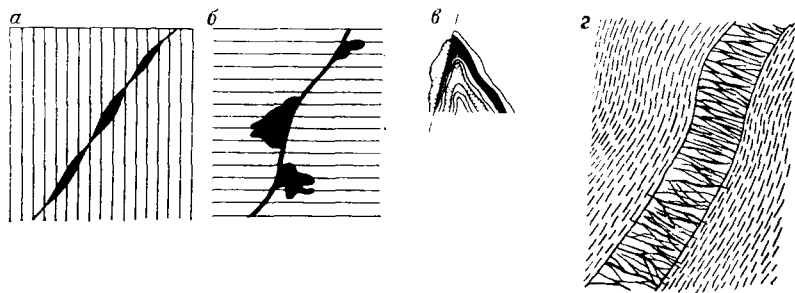


Рис. 3. Формы жильных тел полезных ископаемых:

а — четковидная, *б* — камерная, *в* — седловидная, *г* — лестничная

ее лежачего и висячего 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 рассланцевания. 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.

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

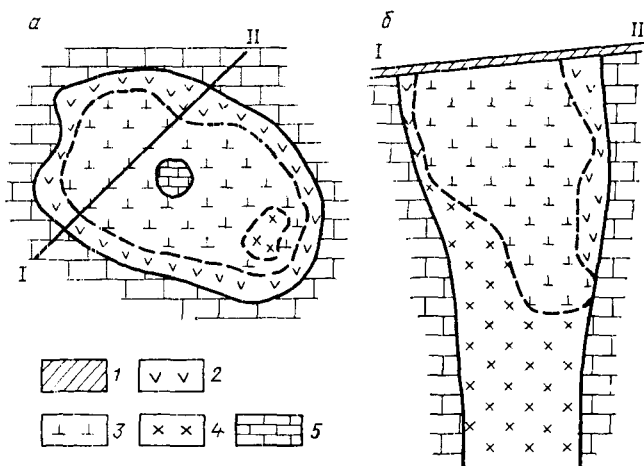


Рис. 4. Трубообразное тело:

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

Т а б л и ц а 1. Классификация форм тел полезных ископаемых

По геометрическому признаку	По соотношению с вмещающими породами	
	сингенетические	эпигенетические
Изометричные Плитообразные Трубообразные	Шток, гнездо Пласт, линза —	Шток, гнездо, штокверк Жила, линза, чечевица Труба, рудный столб

горизонтальной плоскостью; он может изменяться от 0 до 90°. Размеры поперечного сечения и длина оси достаточно изменчивы. На месторождениях полезных ископаемых трубообразные тела встречаются довольно редко. Наиболее типичные представители их — алмазонаосные кимберлитовые трубки взрыва.

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 вмещающими породами. Типичными примерами их могут служить пласты и линзы осадочных месторождений.

Эпигенетическими называются тела, образованные позднее вмещающих пород. К этой группе всегда относятся различного рода жилы (табл. 1).

Все описанные рудные тела могут либо выходить на дневную поверхность, либо залегать на той или иной глубине. В последнем случае их называют *«слепыми»*, или *скрытыми*. В зависимости от глубины, на которой размещаются тела полезных ископаемых, их делят на *поверхностные* (до 100 м) и *глубокозалегающие*.

По характеру залегания среди тел полезных ископаемых различают *горизонтальные* (угол падения до 10°) и *наклонные*. При угле падения более 45° тела называют крутопадающими.

По отношению к первичному напластованию или контактам вмещающих пород тела полезных ископаемых бывают *согласные* и *секущие*. Сингенетические тела всегда имеют согласное залегание.

Выклинивание тел полезных ископаемых может быть простым, когда мощность уменьшается постепенно, тупым, если мощность уменьшается резко, и сложным, когда тело полезного ископаемого разделяется при выклинивании на многочисленные тонкие пропластки и прожилки.

Контакты тел полезных ископаемых бывают резкими (четкими) и постепенными, если сплошная масса полезного ископае-

мого переходит в породу через зону вначале богатой, а затем постепенно убывающей вкрапленности. По форме выделяют контакты ровные и извилистые.

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 простираций 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 несколько изогнуты по направлению движения), борозды на зеркалах скольжения (глубина борозд уменьшается в направлении движения), ориентировка «слоистости» в глинке трения и др.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте характеристику основных морфологических типов тел полезных ископаемых.

2. Какие геологические элементы определяют форму, размеры и условия залегания изометричных, плоских и трубообразных тел полезных ископаемых?

3. Какие тела (месторождения) полезных ископаемых называются сингенетическими и эпигенетическими, согласными и секущими?

4. Какие существуют типы выклинивания и контактов тел полезных ископаемых?

5. Назовите основные виды тектонических нарушений первичного залегания тел полезных ископаемых.

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Являясь природными минеральными образованиями, все полезные ископаемые обладают определенным вещественным (минеральным и химическим) составом, строением, или структурно-текстурными особенностями, а также некоторым комплексом физических, физико-химических и технологических свойств. Все эти характеристики в общем случае обуславливают качество полезных ископаемых, которое имеет важнейшее значение для оценки месторождений с целью их промышленного использования.

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. 2), 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 приходятся тысячные доли процента, в полиметаллических рудах содержание галенита и сфалерита может достигать 30—50 %; богатые руды железа почти целиком состоят из рудных минералов.

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;

Таблица 2. Главные ценные минералы руд

Элемент	Минерал	Формула	Содержание элемента, %	Плотность, $\rho \cdot 10^3$, кг/м ³
Алюминий	Диаспор	AlO(OH)	47,2	3,3
»	Бёмит	AlO(OH)	47,2	3,0
»	Гидраргиллит (гипсцит)	Al(OH)_3	36,2	2,4
»	Нефелин	$\text{KNa}_3[\text{AlSiO}_4]_4$	18,9	2,6
»	Алунит	$\text{KAl}_3[\text{SO}_4]_2(\text{OH})_6$	20,5	2,7
Барий	Барит	$(\text{Ba}, \text{Sr})[\text{SO}_4]$	58,0	4,3
Бериллий	Берилл	$\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$	5,1	2,7
Вольфрам	Вольфрамит	$(\text{Fe}, \text{Mn})[\text{WO}_4]$	60,5	7,0
»	Шеелит	$\text{Ca(WO}_4\text{)}$	63,8	6,0
Железо	Магнетит	Fe_3O_4	72,3	5,2
»	Гематит	Fe_2O_3	70,0	5,2
»	Лимонит	$\text{FeO(OH)} \cdot n\text{H}_2\text{O}$	55,0	4,0
»	Сидерит	FeCO_3	48,1	3,8
»	Ильменит	$(\text{Mg}, \text{Fe})\text{TiO}_3$	36,8	4,5
Калий	Сильвин	KCl	52,4	2,0
»	Карналлит	$\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	14,1	1,6
Литий	Сподумен	$\text{LiAl(Si}_2\text{O}_6\text{)}$	8,1	3,2
»	Лепидолит	$\text{KLi}_2\text{Al(Si}_4\text{O}_{10}\text{)} \cdot (\text{Fe}, \text{OH})_2$	3,7	2,8
Марганец	Пирролизит	MnO_2	63,2	4,8
»	Манганит	MnO(OH)	62,5	4,3
»	Псиломелан	$m\text{MnO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	45,0	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	6,0
»	Малахит	$\text{Cu}_2[\text{CO}_3](\text{OH})_2$	57,5	4,0
»	Азурит	$\text{Cu}_3[\text{CO}_3]_2(\text{OH})_2$	55,3	3,8
Молибден	Молибденит	MoS_2	60,0	4,8
Мышьяк	Арсенопирит	FeAsS	46,0	6,0
»	Реальгар	AsS	70,1	3,5
»	Аурипигмент	As_2S_3	61,0	3,5
Никель	Пентландит	$(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$	34,2	4,8
»	Силикаты никеля	—	18,0	2,8
Олово	Касситерит	SnO_2	78,7	7,0
Ртуть	Киноварь	HgS	86,2	8,1
Свинец	Галенит	PbS	86,6	7,5
Сера	Сера самородная	S	100,0	2,0
»	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
Титан	Рутил (титанит)	TiO_2	60,0	4,2
»	Ильменит	$(\text{Mg}, \text{Fe})\text{TiO}_3$	31,6	4,7

Элемент	Минерал	Формула	Содержание элемента, %	Плотность, $\rho \cdot 10^3$ кг/м ³
Фосфор	Апатит	$\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$	41,5	3,2
»	Фосфорит	Смесь апатита и гидроксилапатита	20,0	3,0
Фтор	Флюорит	CaF_2	48,8	3,2
Хром	Хромит	FeCr_2O_4	46,4	4,4
Цинк	Сфалерит	ZnS	67,1	3,8

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

По степени концентрации ценных минералов различают богатые (массивные, сплошные), рядовые и бедные (вкрапленные) руды. По генезису руды делят на первичные (неизмененные) и вторичные. Наконец, существует группировка минерального сырья по сортам, основанная на различии специфических свойств и характеристик ценных минералов.

Важным показателем вещественного состава руд, влияющим на оценку их качества, служит содержание вредных примесей. Для руд железа и марганца вредными примесями являются сера и фосфор, для бокситов — кремнезем и сера, для золотых руд — мышьяк, для фосфоритов — магний, для серных руд — общий углерод, битумы, мышьяк и селен. Вредные примеси снижают качество руд, а в ряде случаев делают крайне сложными или невозможными их переработку и использование.

В большинстве случаев руды кроме главных содержат сопутствующие ценные компоненты. Их извлечение даже при небольшом содержании повышает общую ценность руд. Часто попутные ценные компоненты по стоимости превышают главные, а их запасы в комплексных месторождениях нередко выше, чем на крупных самостоятельных месторождениях. К сожалению, многие комплексные руды трудно обогатимы.

Для полезных ископаемых, которые используются целиком, без предварительной переработки (например, строительные горные породы), ценные и сопутствующие минералы не выделяются. К основным характеристикам их вещественного состава, определяющим качество минерального сырья, относятся физико-технические свойства пород, соответствующие направлениям промышленного применения.

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 структуре. По масштабам проявления выделяют мега-, макро- и микро-

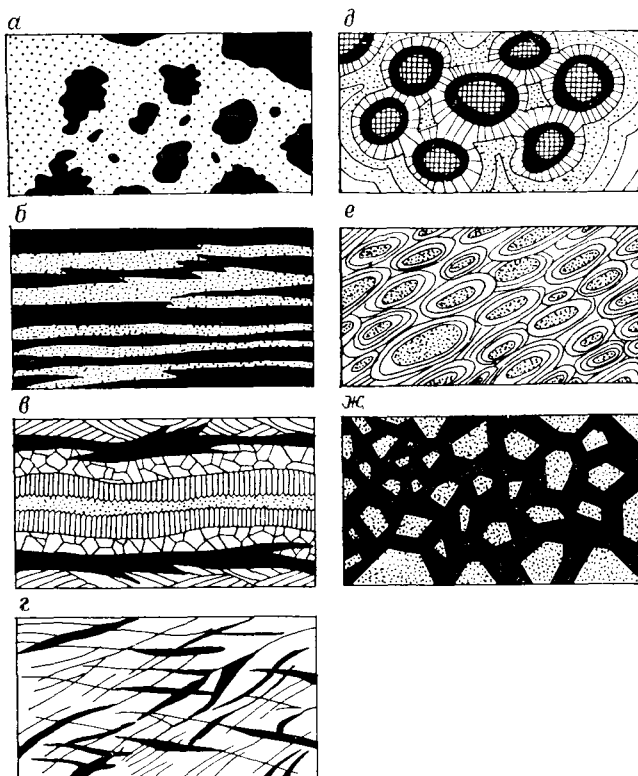


Рис. 5. Типы текстур полезных ископаемых (по В. И. Смирнову):
 а — пятнистая, б — полосчатая, в — крустификационная, г — прожилковая, д — кокардовая, е — оолитовая, ж — брекчиевая

текстуру. 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.

По морфологическим признакам выделяются следующие типы текстур полезных ископаемых: массивная, пятнистая, полосчатая, прожилковая, сфероидальная, почковидная, дробленая, пустотная, каркасная, рыхлая (рис. 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 текстура 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 (обломочная, землистая, порошковая, сажистая) текстура наблюдается на месторождениях выветривания и оса-

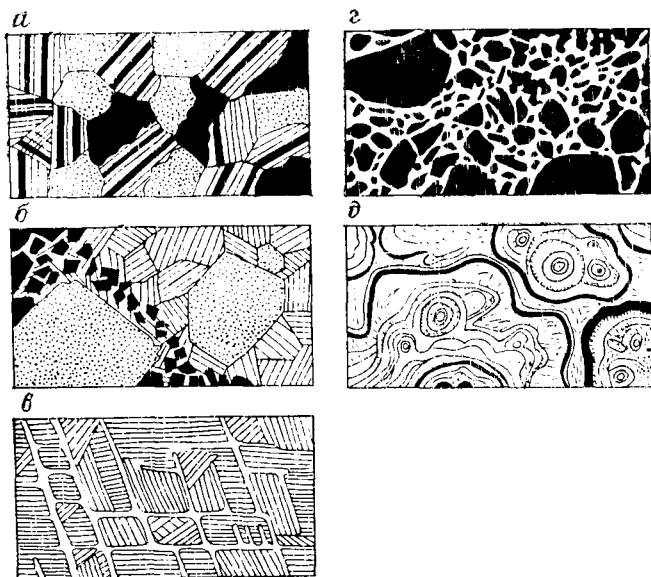


Рис. 6. Типы структур полезных ископаемых (по В. И. Смирнову):

а — равномернозернистая, *б* — неравномернозернистая, *в* — кристаллографически ориентированная, *г* — дробления, *д* — колломорфная

дочных. 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. 6).

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 отлагавшихся 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 рудах зоны выветривания и 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 происхождения 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.

Контрольные вопросы и задания

1. Что называется качеством полезных ископаемых?
2. Какие характеристики определяют вещественный состав металлических и неметаллических руд, ископаемых углей, строительных горных пород?
3. Назовите главные промышленные минералы руд алюминия, вольфрама, железа, марганца, меди, никеля, серы, фосфора.
4. Что такое типы и сорта полезных ископаемых?
5. Что называется текстурой и структурой полезных ископаемых?
6. Дайте характеристику основных видов текстур и структур полезных ископаемых.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

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 исходили 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 желательно 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

Т а б л и ц а 3. Генетическая классификация месторождений полезных ископаемых

Серия	Группа	Класс	Подкласс
Э н д о г е н н а я	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)
	Метаморфогенная	Метаморфизованный	Регионально-метаморфизованный Контактово-метаморфизованный
		Метаморфический	Регионально-метаморфический Контактово-метаморфический
Эндогенно-экзогенная	Магматогенно-седиментогенная	Вулканогенно-осадочный	Не выделены
		Гидротермально-осадочный	» »
Экзогенная	Седиментогенная	Выветривания	Остаточный Инфильтрационный
		Осадочный	Механический Химический Биохимический

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. 3) авторами вслед за рядом других исследователей рассматриваются следующие

соподчиненные единицы (таксоны): серии, группы, классы и подклассы месторождений полезных ископаемых.

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 мелких 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 основными типам метаморфизма. Для седиментных классификация базируется на основных этапах седиментогенеза (в широком смысле этого слова) — мобилизации вещества в коре выветривания и последующем осадконакоплении, а также на физико-химическом механизме протекания этих процессов.

В последующих главах месторождения полезных ископаемых и условия их образования будут рассмотрены в пределах отдельных классов и подклассов с большей детальностью. При этом более детальное подразделение месторождений проведено по минеральному составу. Следовательно, выделенные типы месторождений по существу являются их промышленно-генетическими типами.

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 следующие 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 том числе и рудообразующие, происходят в это время в обстановке преобладающего 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-диабазового состава, с которыми ассоциируют вулканогенно- и гидротермально-осадочные месторождения меди, цинка, свинца, а также окисных руд железа и марганца.

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

Поздняя (орогенная) стадия соответствует проявлению главных фаз складчатости и постепенному превращению мо-

бильной 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 гидротермальные 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 редкометалльных 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 железо-марганцевые конкреции, приуроченные к глубинным зонам большинства океанов и заключающие в себе грандиозные по масштабам запасы полезных компонентов. Конкреции — 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 полиметалльные рудные жилы, приуроченные обычно к зонам крупных разломов. В их локализации большое значение имеют рифтовые 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 деше-

вой технологии массового извлечения их из вод морей и океанов пока не производится, 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 путем анализа 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, титаномagnetита, алмазов. Кроме того, к этим породам приурочены гидротермальные месторождения асбеста, магнезита, талька.

Основные породы (габбро, нориты, анортозиты) продуцируют магматические месторождения титаномagnetитовых 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 залегают, 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 локализуются 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 было связано с колебательными тектоническими движениями земной коры и 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, бокситов, 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. 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, благоприятствующие перемещению рудообразующих растворов или расплавов. С этой зоной связано формирование подавляющего большинства плутогенных гидротермальных месторождений, скарновых месторождений железа и меди, а также магматических месторождений сульфидных медно-никелевых руд и карбонатов.

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 производится косвенными методами, среди которых могут быть названы термометрические (по газово-жидким включениям в минералах), 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 (pH), окислительно-восстановительный потенциал (Eh), режим уголекислоты, 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, газово-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 путем 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 отложения.

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.

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.

Часть II

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

МАГМАТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Условия образования

Магматические месторождения формируются в процессе дифференциации и кристаллизации рудоносной магмы ультраосновного, основного или щелочного состава при высокой температуре (1500—700 °C), 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. Шарик сливается в полосы, гнезда, часть из которых благодаря высокой плотности погружается в придонные части магматической 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, редкометалльные (циркон) и редкоземельные (монацит) 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 шилы 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 титаномагнетитовые месторождения, приуроченные к габбро-дунит-пироксенитовым породам. На платформах ликвационные 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 с 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 кристаллическизернистые 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 главным представителем промышленных раннемагматических месторождений следует считать коренные **месторождения алмазов в кимберлитах**. Они приурочены к активизированным зонам древних платформ — Сибирской (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-дунитового состава — на Урале (Кусинское, Качканарское, Гусевогорское), в Карелии (Пудожгорское), на Горном Алтае (Харловское), в Забайкалье (Чинейское), Норвегии (Телнесс), Швеции (Табберг), 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 дунитами, в которых и располагаются рудные тела, представленные жилами, линзами, трубами, 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 титаномагнетитов чаще всего генетически связаны с габбро-пироксенит-дунитовыми массивами ранней стадии геосинклинального развития. Рудные тела, размещение ко-

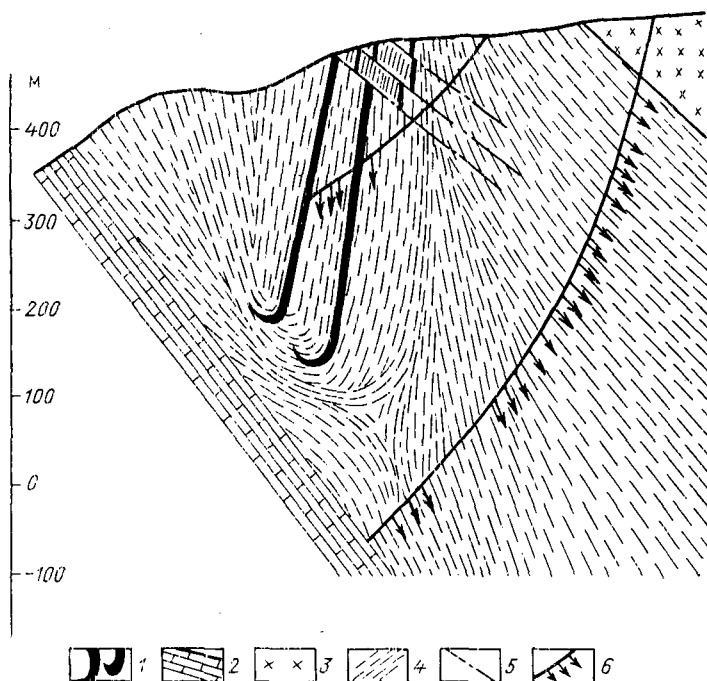


Рис. 7. Тектонический контроль размещения оруденения (разрез Кусинского месторождения титаномagnetита, по Д. С. Штейнбергу):

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

торых контролируется элементами протомagmaticеской тектоники и более поздними разрывными нарушениями (рис. 7), имеют форму жил, линз, гнезд, шлиров.

Текстуры руд массивные, полосчатые, пятнистые, вкрапленные. Наиболее типичной структурой является сидеронитовая. Основные минералы руд — титаномagnetит, 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 генети-

чески 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 выделяются 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 карбонатитоносных ультраосновных — щелочных пород. Из них только 20 служат объектами разработки. На территории СССР подобные массивы выявлены в Карелии, на Кольском полуострове, в Восточной Сибири, Приморье. За рубежом они известны в США, Канаде, Бразилии, ФРГ, Швеции, Норвегии, Финляндии, Гренландии, Австралии, Индии, Афганистане, в ряде районов Африки.

Интрузивы имеют концентрически-зональное строение. Это могут быть штоки, лополиты, системы кольцевых и полукольцевых 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 (фенитов).

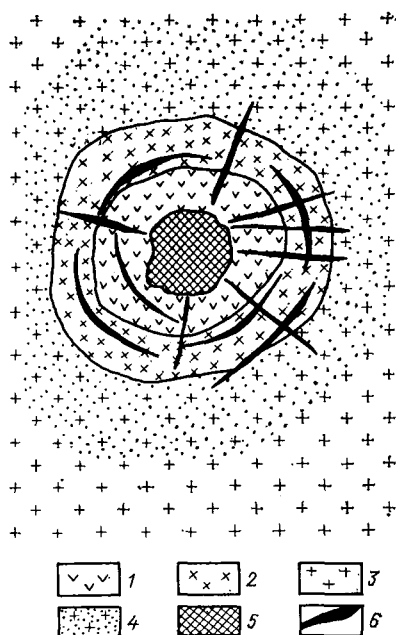
Залежи карбонатитов образуют штоки, конические дайки, падающие к центру массива, кольцевые дайки, падающие в противоположную сторону, радиальные дайки (рис. 8). Размеры рудных тел различные: поперечное сечение штоков от нескольких сотен метров до 10 км, длина даек по простиранию — от нескольких сотен метров до 1—2 км.

Карбонатиты на 80—90 % состоят из карбонатных минералов. В них присутствуют также апатит, флогопит, титаномagnetит, магнетит и редкие минералы — бадделлит (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,

Рис. 8. Схема геологического строения карбонатитового месторождения:

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



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 %; запасы апатита сопоставимы по масштабам при содержании P_2O_5 10—15 %;

2) флогопитовые карбонатиты, образованные на контакте железо-магнезиальных пород с щелочными и представленные крупными зонами слюд, флогопитовыми жилами и прожилками, неравномерной вкрапленностью; качество слюды невысокое, содержание ее от десятков и сотен килограммов в кубическом метре до сплошных слюдяных 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 промышлен-

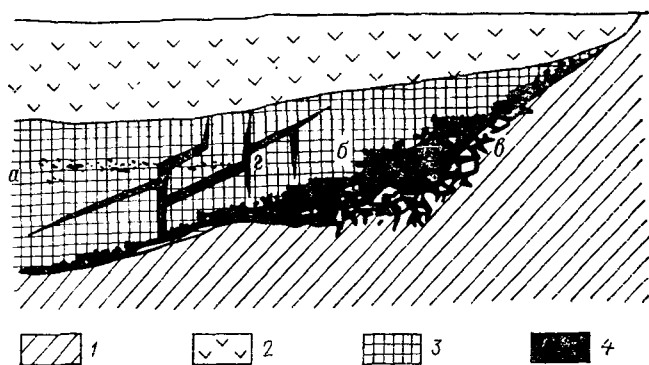


Рис. 9. Схема размещения рудных тел сульфидно-медно-никелевых месторождений (по Г. Б. Роговеру):

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

ное 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.

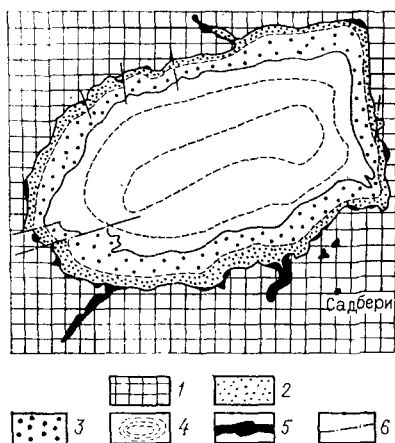
Рудоносные массивы представлены лополитами, пластовыми и сложными залежами, а их размещение контролируется глубинными разломами и синклиналильными структурами осадочного чехла платформ. Протяженность интрузий измеряется километрами, а мощность — десятками метров. Вмещающими для интрузий являются осадочные 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 приконтактных брекчиевых руд; 4) жилы в интрузиях и вмещающих породах (рис. 9). 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 ку-

Рис. 10. Схема геологического строения лополита Садбери в Канаде (по П. Колеману):

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



банит; второстепенные и редкие весьма разнообразны — 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.

В СССР к рассматриваемому типу относятся месторождения Красноярского края (Норильск-I, Талнахское, Октябрьское) и Кольского полуострова (Печенгская группа), в Канаде — районов Садбери (лополит Садбери является крупнейшим зарубежным месторождением — рис. 10) 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.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое магматические месторождения? Какие типы дифференциации вещества происходят при их формировании?
2. Как образуются ранне-, позднемагматические и ликвационные месторождения?
3. Назовите геологические условия формирования раннемагматических месторождений. Какие полезные ископаемые характерны для них?
4. Назовите характерные особенности условий залегания, строения и состава позднемагматических месторождений. Какие типы позднемагматических месторождений имеют промышленное значение?
5. Дайте характеристику ликвационных сульфидных медно-никелевых месторождений.

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, Е. Камерон, 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 фации метаморфизма вмещающих пород.

Вероятнее всего, в различной геологической обстановке процесс пегматитообразования может протекать различными путями. Но при этом все пегматитовые месторождения обладают

характерным набором 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 СССР в Карелии (Хетоламбино, Чкаловское, Лупикко), на Кольском полуострове, Украине (Бельчаковское, Глубочанское), в Восточной Сибири (Мамско-Чуйские), а за рубежом в Швеции, Финляндии, Норвегии, Индии, США, Канаде, Бразилии.

Перекристаллизованные пегматиты

Для перекристаллизованных пегматитов типична разнотелая крупно- и гигантозернистая структура, сформированная в результате перекристаллизации исходного вещества под воздействием газово-водных растворов. В процессе перекристаллизации возникают крупные выделения кварца, калиевого полевого шпата и мусковита (рис. 11). Зональность может отсутствовать. Описываемые пегматиты образуют самостоятельные поля или тела среди полей более сложных пегматитов.

С перекристаллизованными пегматитами связаны мусковит-кварц-полевошпатовые месторождения, являющиеся единствен-

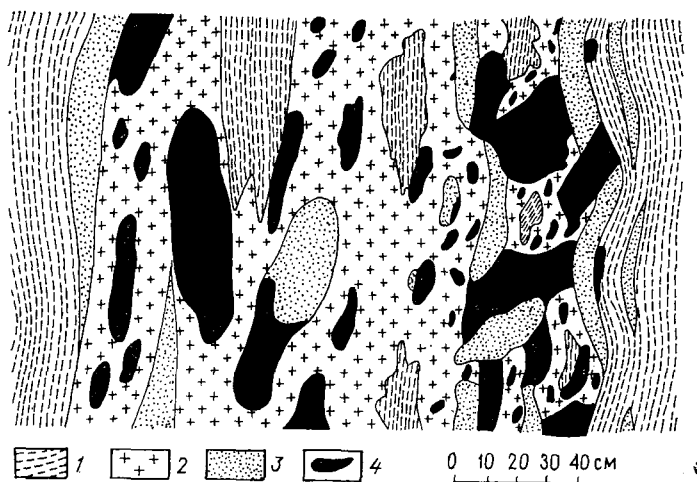


Рис. 11. Строение жилы перекристаллизованного пегматита (по В. И. Смирнову):

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

ным промышленным источником мусковита. Месторождения этого типа сосредоточены в СССР 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 газозово-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 (СССР, ЮАР, Канада, США); (разрез одного из зональных пегматитовых тел приведен на рис. 12);

берилл-кварц-полевошпатовые (СССР, Заир, Замбия, Австралия, США, Бразилия);

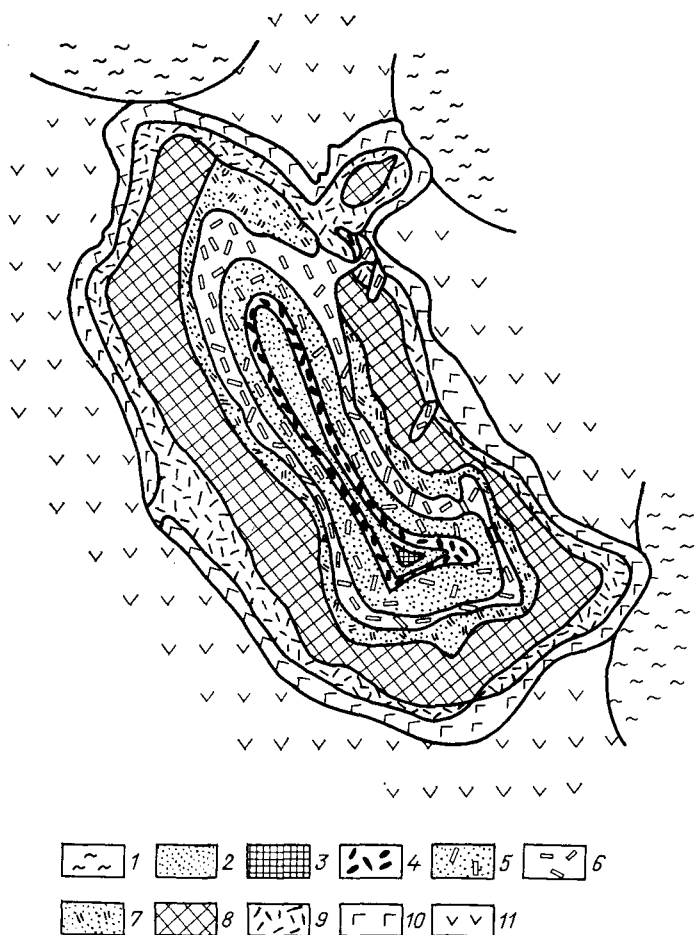


Рис. 12. Геологический разрез тела метасоматически замещенного пегматита (по Н. А. Солодову):

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

драгоценных камней — горного хрусталя, аметиста, топаза, аквамарина, турмалина, развитые как в СССР (Урал, Казахстан, Украина), так и за рубежом (Афганистан, Индия, ЮАР, Мадагаскар, Австралия, Бразилия);

корундовые с его драгоценными разновидностями — сапфиром и рубином — Урал (Карабашское, Борзовское), Индия, Еги-

пет, ЮАР, Австралия, Канада, США (Пенсильвания, Северная Каролина).

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.

Контрольные вопросы и задания

1. Что называют пегматитовыми месторождениями? Как образуются гранитные пегматиты согласно различным генетическим гипотезам?

2. Расскажите о геологических условиях формирования и полезных ископаемых простых пегматитов.

3. Какие полезные ископаемые связаны с перекристаллизованными пегматитами?

4. Какие типы метасоматически замещенных пегматитов имеют промышленное значение?

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Условия образования

Гидротермальные месторождения формируются преимущественно за счет горячих минерализованных газово-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 состоянию 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 внемагматическими. *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 внемагматических 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 растворов, 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 гидротермальных растворов 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 паробразной 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 приповерхностные. Плутогенные и вулканогенные месторождения 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).

Плутогенные месторождения

Плутогенные 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 путем выполнения 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.

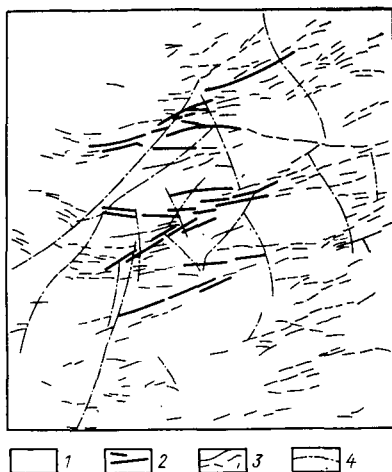
К плутогенным принадлежат следующие типы месторождений: золото-кварцевый, вольфрамит-молибденит-кварцевый, касситерит-кварцевый, никель-кобальт-арсенидный, молибденит-халькопиритовый (медно-порфировый), галенит-сфалеритовый, золото-сульфидный, касситерит-силикатно-сульфидный, тальковый, магнезитовый, хризотил-асбестовый, флюоритовый и киноварь-антимонит-кварцевый. Кратко охарактеризуем основные из этих типов.

Золото-кварцевые месторождения обычно связаны с массивами гранитоидов, сопровождаемыми сериями даек. Рудные тела контролируются разрывными (рис. 13) и складчатыми тектоническими нарушениями; это преимущественно штокверки, простые и сложные жилы, в том числе седловидные, приуроченные к шарнирам складок. В рудах преобладает золотоносный кварц, содержание сульфидов не превышает 0,5—2 %. В СССР к этому типу относятся месторождения Урала (Кочкарское), Средней Азии (Мурунтау), Сибири (Коммунар, рудник «Советский»); за рубежом они известны в Швеции (Болиден), Индии (Колар), Мали, Заире, Австралии (Бендиго), Канаде, Бразилии.

Вольфрамит-молибденит-кварцевые месторождения представлены крутопадающими жилами, трубообразными телами и штокверковыми зонами вкрапленных руд, которые локализуются в куполах гранитоидов и в зонах их экзоконтактов. В СССР месторождения этого типа расположены в Забайкалье (Джида, Белуха, Букука, Шахтама) и Казахстане (Шалгия, Верхнее

Рис. 13. Схема размещения золото-кварцевых жил на Кочкарском месторождении (по Ф. И. Вольфсону):

1 — плаггиограниты; 2 — промышленные жилы и рудные зоны; 3 — не-промышленные жилы; 4 — разрывные нарушения



Кайракты). За рубежом они развиты в Португалии, Норвегии (Кнабен), КНР (Ляндюшань, Шанпин), МНР, Бирме, 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), а за рубежом 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 (СССР, Тува) и Кобальт (Канада).

Молибденит-халькопиритовые (медно-порфировые) месторождения формируют штокверки и прожилково-вкрапленные зоны рассеянного оруденения близ 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 правило, характеризуется зональным строением. Месторождения этого типа распространены в Казахстане (Коунрад), Узбекистане (Кальмакыр), Армении (Каджаран, Агарак). За рубежом крупные месторождения имеются в США (Бингем, Кляймакс), Чили (Чукикамата — рис. 14), НРБ (Медет), СФРЮ (Бор).

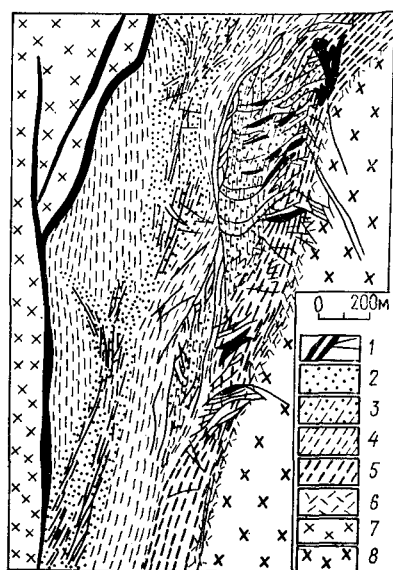


Рис. 14. Схема геологического строения медно-порфирового месторождения Чуикамата (по В. Лопесу и В. Перри):

1 — рудные жилы и прожилки; 2—6 — измененные палеогеновые монцонитовые 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

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.

В СССР месторождения этого типа находятся в Забайкалье (Хапчеранга), Якутии (Эге-Хая, Депутатское), Приморье (Хрустальное), на Чукотке (Валькумей), а за рубежом 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, карбонаты, кварц, серицит. В СССР месторождения описываемого типа известны на Кавказе (Садон, Згид, Холст), в Забайкалье (Нерчинская группа), а за рубежом — в ГДР (Фрайберг), ЧССР (Пршибрам), НРБ (Мадан, Руен), Индии, Бирме (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), За-

байкалье (Дарасунское), Западной Сибири (Берикульское, Саралинское), а за рубежом — в Австралии, США (Материнская жила), 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 Туве (Актовракское); Забайкалье (Молодежное), а также в Зимбабве (Шабани, Машаба), ЮАР (Нью-Амиантус), Канаде (Джеффри, 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, киноарный, 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 текстурам 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, кварц

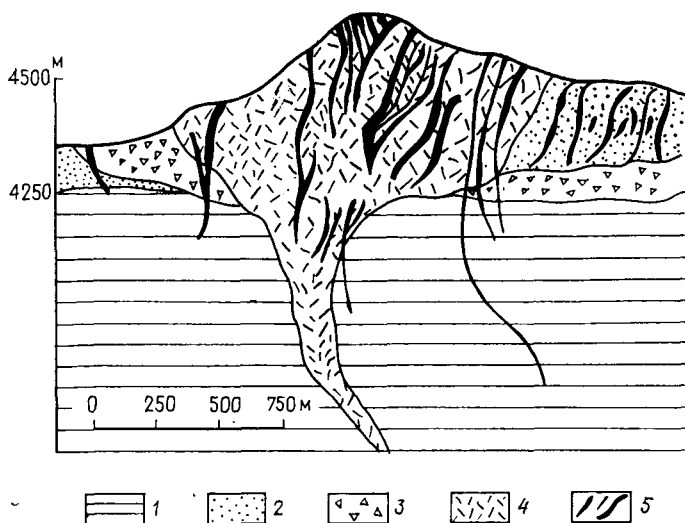


Рис. 15. Геологический разрез месторождения Потоси в Боливии (по Х. Мурильо):

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

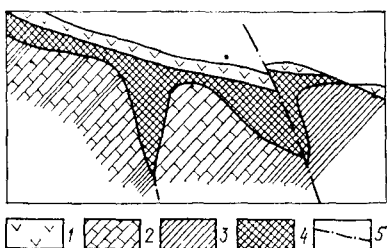
и сульфиды. Типичными примерами являются месторождения Восточной Сибири — Коршуновское, Рудногорское, Нерюндинское, Тагарское.

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 в СССР известны в Приморье (Джалиндинское, Хинганское), а за рубежом в Японии (Акенобе), Боливии (Ллалагуа, Потоси — рис. 15), 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. 16). 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.

Рис. 16. 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



Месторождения расположены на Чукотке (Пламенное), Камчатке (Чемпура), в Приамурье (Ланское), Закарпатье (Боркут), а за рубежом в СФРЮ (Идрия), Италии (Монте-Амиата), Алжире (Ислаим), Японии (Итомука), США (Мак-Дермит—Опалит), Новой Зеландии (Пуи-Пуи).

Золото-серебряные месторождения, ассоциирующие с субвулканическими интрузивами кварцевых порфиров, приурочены 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 в СССР относятся месторождения Забайкалья (Балей, Белая Гора, Тасеевское); за рубежом они развиты в США (Крипл-Крик, Комсток) и СРР (Нагиар).

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.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое гидротермальные месторождения?
2. Расскажите о физико-химических условиях формирования гидротермальных месторождений.
3. Охарактеризуйте геологические условия и полезные ископаемые плутоногенных гидротермальных месторождений.
4. Опишите геологические условия и полезные ископаемые вулканогенных гидротермальных месторождений.

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 (горные 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 и фторидов щелочных металлов, сернистых соединений и других компонентов, в том числе 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 компонентов, а иногда и совместным нахождением. 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 газово-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 кон-

тактового 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, слюды, 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 возникали 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, развитые на территории СССР, КНР, Индии, Намибии, Нигерии, Канады, Бразилии.

Грейзеновые месторождения

Грейзены в наиболее общем случае состоят из агрегатов слюды (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 алюмосиликатных породах их кровли — песчаниках, сланцах, эффузивах. В связи с этим выделяют эндогрейзены, располагающиеся в самих магматических поро-

дах, 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 перматитовых гранитов и их экзоконтактным зонам. Рудные тела имеют форму штоков, штокверков, жил. Главный рудный минерал — вольфрамит — часто сопровождается касситеритом, молибденитом, висутином.

Вмещающие породы грейзенизированы, мусковитизированы, биотитизированы и окварцованы. Месторождения данного типа развиты в Забайкалье (Спокойнинское), Казахстане (Акчатау, Кара-Оба), а за рубежом в ЧССР (Циновец), ГДР, Франции (Монтебрас), КНР (Пяотан, Синьхуаньшань), МНР (Югодзыр, Баянмонд), 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. В СССР месторождения описываемого типа известны на Чукотке (Экуг), в Забайкалье (Этыка), Приморье (Чапаевское), Средней Азии (Актас), а за рубежом — в ГДР (Альтенберг), ЧССР, КНР (Лиму), Бирме (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, трещинами кливажа. Главные рудные минералы представлены молибденитом и вольфрамитом. К данному типу относятся месторождения

Забайкалья (Булуктай, Первомайское), Центрального Казахстана (Восточный Коунрад, Жанет), МНР, Аргентины (Серро-Асперо).

С грейzenами 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 контактово-метасоматическими, месторождениями полезных ископаемых. Различают эндо-скарны, 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.

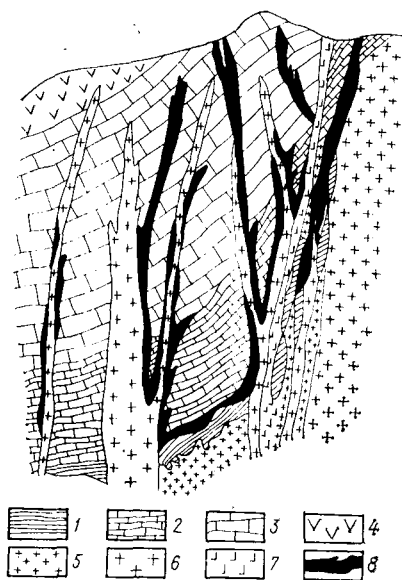
Наиболее интенсивно скарнообразование идет на контактах с интрузиями среднего состава (гранодиориты, кварцевые диориты, монцититы) и умеренных глубин. Благоприятными факторами для формирования скарновых месторождений являются пологие контакты интрузий, тектоническая нарушенность их эндо- и экзоконтактовых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

Скарнообразование как процесс метасоматический 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. 17). 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.

Рис. 17. 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



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 известковоскарновых 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.

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 мине-

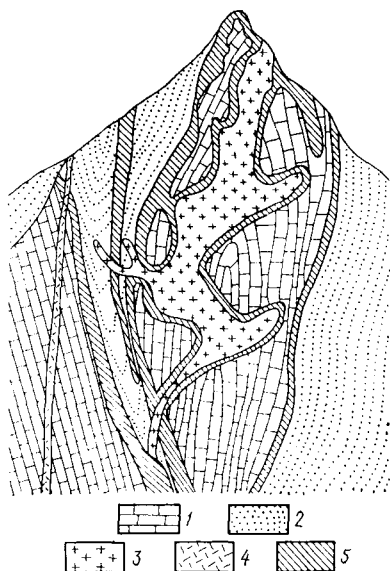


Рис. 18. Геологический разрез месторождения Тырнауз (по В. И. Смирнову):

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

ралами 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, Шерешское). За рубежом крупные месторождения имеются в НРБ, СРР, 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 жиллообразная. Главные минералы рудоносных скарнов — молибденит, шеелит, молибдошеелит, сульфиды железа и меди, пироксены и гранаты. К этому типу в СССР принадлежат месторождения, расположенные на Северном Кавказе (Тырнауз — рис. 18), в Средней Азии (Лянгар, Чорух-Дайрон), а за рубежом — в Марокко (Азгур), США (Бишоп), КНР.

Халькопиритовые месторождения локализуются в приконтактной зоне гранодиоритов и эффузивов среди известняков. Руды слагают гнездо-, трубо- и жиллообразные 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, Базылшак), а за рубежом — в США (Клифтон, Мэрисвейл), Мексике, Канаде, СРР (Банат), Швеции.

Галенит-сфалеритовые скарновые месторождения приурочены к контактам гранодиорит-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), СФРЮ (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, людвигит (железо-магниевый борат), доломит, кальцит. Рудные тела представлены линзами, пластообразными и сложными залежами. Характерно их зональное строение. Наибольшее промышленное значение имеют людвигит-магнетитовые (железо-борные), флогопитовые и хризотил-асбестовые месторождения.

Людвигит-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 людвигитом, магнетитом, шпинелью, форстеритом и сульфидами. Месторождения этого типа известны в СССР в Восточной Сибири (Таежное, Железный Кряж), а также в НРБ, ЧССР, СРР, 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), а за рубежом в США (Аризона), Канаде, КНР, Южной Африке.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое контактово-метасоматические месторождения?
2. При каких физико-химических условиях происходит метасоматическое замещение и формируются альбититовые, грейзеновые и скарновые месторождения?
3. Расскажите об особенностях геологического строения и полезных ископаемых альбититовых месторождений.
4. Охарактеризуйте геологические условия образования грейзеновых месторождений различных промышленных типов.
5. Опишите геологические условия и полезные ископаемые скарновых месторождений. В чем состоят отличия известковых и магнезиальных скарнов?

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-сланцевые. Формирующиеся в процессах метаморфизма минералы (магнетит, гематит, браунит, корунд, кварц, графит, гранат) устойчивы в новых 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-, порфиробластические, роговиковые, пластинчатые, листоватые, волокнистые и сноповидные структуры. Текстура отличается развитием катаклаза и сланцеватости. Характерно полосчатое, сланцеватое, плейчатое, очковое и лучистое строение пород и руд. Метаколлоидные текстуры сменяются кристаллическими.

Форма тел полезных ископаемых уплощается. Преобладают пласто-, линзо-, ленто- и жилообразные 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, не представлявших до этого промышленной ценности, за счет перегруппировки минерального вещества.

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, постмагматических 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 других — уменьшается, а в целом качество железных и марганцевых руд обычно значительно улучшается. Метаморфизм сопровождается гидротер-

мально-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 прослоек 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.

В СССР 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), а за рубежом — 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 **урансодержащих золотоносных конгломератов**, играющих важную роль для зарубежных стран — Финляндии, ЮАР (Витватерсранд), Австралии, Канады (Блайнд-Ривер), Бразилии.

Контактово-метаморфизованные графитовые месторождения возникают в ореоле теплового воздействия интрузий, про-

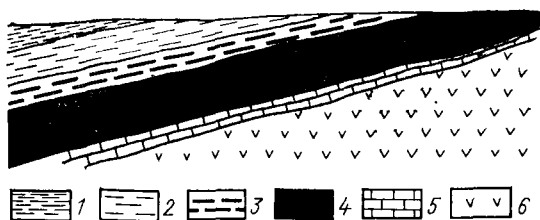


Рис. 19. Схематический геологический разрез Курейского месторождения графита (по С. В. Обручеву):

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

рывающих 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. 19). 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 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.

В СССР месторождения данного типа развиты на Кольском полуострове (Кейвское), в Якутии (Чайнытское), Забайкалье (Кяхтинское, Китойское), а за рубежом 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 вкрапленность чешуйчатого графита. Залежи имеют форму неправильных пластов; это участки пород с повышенным содержанием графита. Районами распространения данных месторождений в СССР являются Украина (Старокрымское, Завальевское), Урал, Малый Хинган, а за рубежом они встречаются в США и 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 термоконтактового метаморфизма.

Месторождения мраморов имеются на Урале (Уфалейское, Коелгинское, Баландинское), Алтае (Ороктойское); Салаирском кряже (Пуштулимское), в Саянах (Кибик-Кордонское), 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 во многих районах Советского Союза — 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 высокоглиноземистых осадочных пород, захваченными магмой и перекристаллизованными. В СССР примером месторождений подобного типа является Синангойское в Хакасской АО.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие изменения строения и состава геологических тел происходят в процессе метаморфизма?
2. Назовите особенности геологических условий образования и полезные ископаемые метаморфизованных месторождений.
3. Дайте характеристику особенностей геологического строения метаморфических месторождений. Какие полезные ископаемые связаны с ними?

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 минерального 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 лежащем 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 изометричной формы, вытянутые штоки и пластообразные залежи. В сильнометаморфизованных породах залежам присуща уплощенная форма, а руды имеют кристаллическое строение.

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

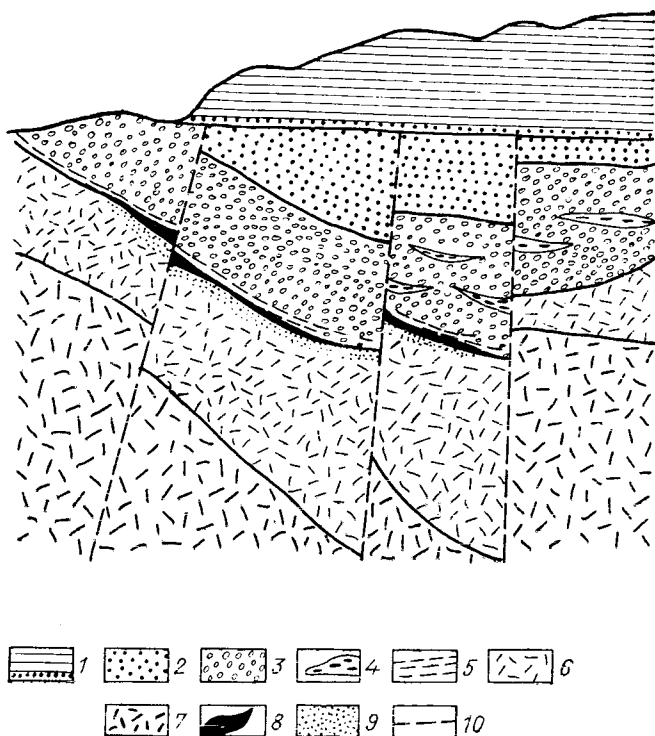


Рис. 20. Геологический разрез месторождения Уруп (по Н. С. Скрипченко): 1 — песчаники и сланцы; 2—3 — туфы различного состава: 2 — кислого, 3 — среднего; 4 — филлиты; 5 — кремнистые сланцы; 6 — кварцевые альбитофиры; 7 — диабазы и диабазовые порфиры; 8 — залежи массивных колчеданных руд; 9 — вкрапленная рудная минерализация; 10 — послерудные тектонические нарушения

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. 20), а также сопряженных с ними штоков, штокверков и жил. Протяженность рудных тел — первые километры при мощности 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; пирротинном, 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 лежащего бока залежи к висячему.

Месторождения данного типа распространены на Урале (Сибай, Гайское, Блявинское, Учалы), Кавказе (Уруп, Кафан, Шамлуг, Алаверды), а за рубежом — в СФРЮ (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 вулкано-купольным и жерловым структурам, вулкано-тектоническим и межвулканическим депрессиям, зонам трещиноватости и разломам.

Рудные тела имеют форму согласных пласто- и линзообразных залежей, нижние границы которых часто осложнены крутопадающими апофизами и штокверковыми зонами (рис. 21). 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,

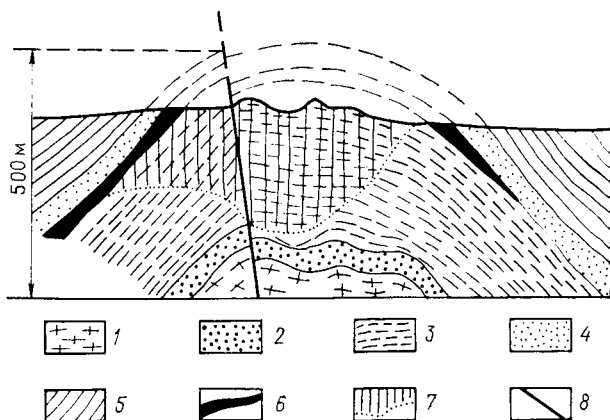


Рис. 21. Схематический геологический разрез колчеданно-полиметаллического месторождения Рио-Тинто (по В. И. Смирнову):

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

процесс минералообразования был сложным; здесь так же проявлена хорошо выраженная зональность.

В СССР месторождения описываемого типа развиты в Прибайкалье (Холоднинское), Забайкалье (Озерное), на Алтае (Зырянское, Риддер-Сокольное, Тишинское, Белоусовское), в Казахстане (Жайрем, Текели), на Кавказе (Филизчай, Маднеули), а за рубежом — в ФРГ (Раммельсберг), Испании (Рио-Тинто), Норвегии, Швеции (Фалун), Бирме, Японии, Австралии, США, на Кубе (Санта-Люсия).

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 и в меньшей степени магнетитом и сидеритом. К месторождениям этого типа относятся Западный Каражал в Казахстане, Холзунское на Алтае, Лан и Дилль в ФРГ 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.

Контрольные вопросы и задания

1. Как формируются вулканогенно-осадочные месторождения? Какие особенности условий залегания, морфологии и состава тел полезных ископаемых для них характерны?

2. Расскажите о геологических условиях образования и вещественном составе колчеданных месторождений.

3. Дайте характеристику свинцово-цинковых и железорудных вулканогенно-осадочных месторождений.

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 неясности 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 эпигенетического образования. Предполагают, что формирование начинается с накопления сингенетических и одновременно с вмещающими породами 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 органического углерода. Рудные тела представлены согласными пластовыми, линзовидными и лентообразными пологими залежами (рис. 22). 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

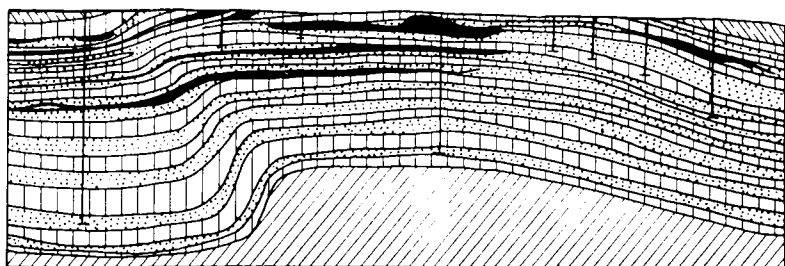


Рис. 22. Геологический разрез месторождения Дзержказган (по К. И. Саг-паеву):

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

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 особенностью процессов рудообразования.

Месторождения этого типа в СССР развиты в Казахстане (Дзержказган), Прибайкалье (Удокан), а за рубежом в ГДР (Мансфельд), ПНР (Предсудетское), Афганистане (Айнак), Замбии (Роан-Антилоп, Чамбиши, Нчанга), Заире (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

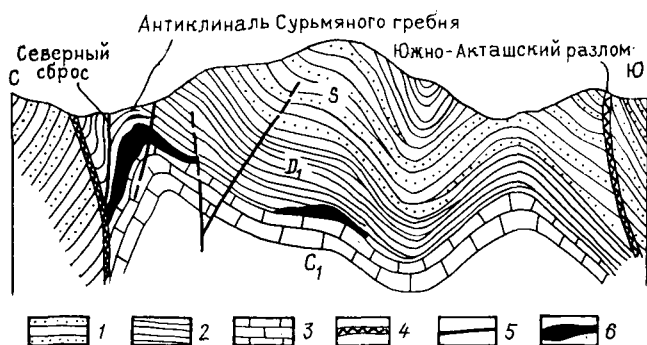


Рис. 23. Геологический разрез месторождения Кадамджай (по Н. А. Никифорову):

1 — песчано-сланцевые отложения; 2 — глинистые сланцы с прослоями гравелитов; 3 — массивные известняки; 4 — надвиги; 5 — прочие разломы; 6 — роговиково-джаспероидные брекчии с оруденением

барит; второстепенные — марказит, халькопирит, борнит, сульфосили свинца, кварц, флюорит. Текстуры руд — полосчатые, прожилковые и послойные вкрапленные, структуры — мелкозернистые. Ценными компонентами руд кроме свинца и цинка являются медь, серебро, кадмий.

В СССР к этому типу относятся месторождения Казахстана (Миргалымсай, Шалгия), Средней Азии (Уч-Кулач, Сумсар, Джергелан). За рубежом они распространены в ПНР (Олькуш, Болеслав), НРБ, СФРЮ (Межица), 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. 23). 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.

В СССР месторождения этого типа распространены в Средней Азии (Кадамджай, Хайдаркан, Чаувай), на Украине (Никитовка), а за рубежом — в НРБ (Рыбново), Италии, Испании (Альмаден), КНР (Синьхуаньшань, Ваньшань), Перу.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие месторождения относятся к гидротермально-осадочным (стратиформным)?
2. Дайте характеристику геологического строения и вещественного состава борнит-халькопиритовых стратиформных месторождений.
3. Расскажите об особенностях геологического строения и вещественного состава галенит-сфалеритовых стратиформных месторождений.
4. Какие особенности геологического строения и вещественного состава позволяют отличать стратиформные киноварь-антимонитовые месторождения от гидротермальных?

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 минеральной 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 агентам выветривания относятся вода, кислород, углекислота, организмы, колебания температуры.

При разложении коренных пород в коре выветривания важную роль играют реакции окисления, гидратации, гидролиза и, частично, днализа. 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 накоплением 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, гидрохлорит, бейделлит, монтмориллонит. Для формирования полезных ископаемых этот тип несущественен. *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 следующие факторы: климат, состав, структура и возраст коренных пород, тектоническая нарушенность массива, рельеф местности, гидрогеологические условия, длительность процесса формирования коры.

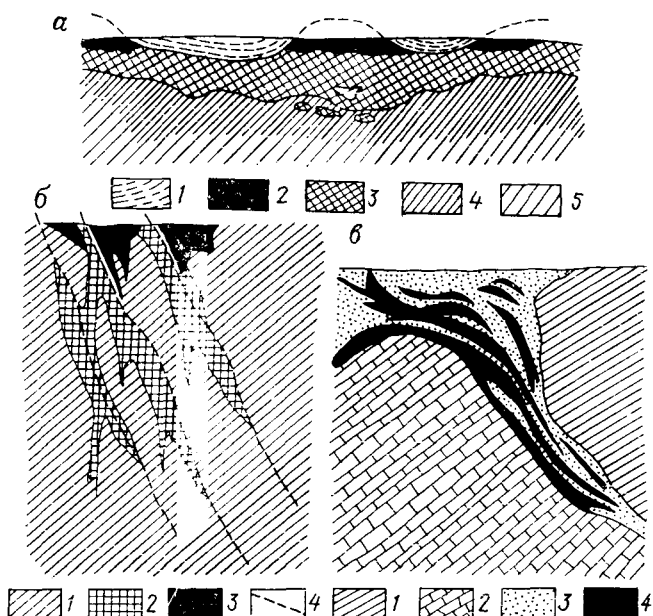


Рис. 24. Типы месторождений коры выветривания:

а — площадной: 1 — покровные отложения; 2 — охристо-глинистые породы; 3—4 — серпентинит со скоплениями минералов никеля: 3 — нонтронитизированный, 4 — разложенный; 5 — неразложенный серпентинит;
б — линейный: 1—2 — серпентинит: 1 — неразложенный, 2 — выветрелый разложенный со скоплениями минералов никеля; 3 — охристо-глинистые породы; 4 — зона трещиноватости;
в — приконтактный (карстовый): 1 — серпентинит; 2 — известняк; 3 — карстовые отложения; 4 — руда

По форме и условиям нахождения тел полезных ископаемых различают месторождения площадной, линейной и приконтактной коры выветривания (рис. 24). 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 выветривания имеют форму жилообразных тел, которые развиваются по системе трещин до глубины 100—200 м. Приконтактные 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 имеющей ценности, и накопления в остатке вещества полезного ископаемого. Инфильтрационные месторождения возникают при растворении грунтовыми водами ценных компонентов, их фильтрации и переотложении 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 щелочных. 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; за рубежом крупные месторождения известны в ГДР, ЧССР, СФРЮ, 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 pH. 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 pH.

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 концентраций 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 СФРЮ, 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 щелочнoземельных 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 СССР в районе КМА (Висловское), на Енисейском Кряже, а за рубежом — в СФРЮ, 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), а за рубежом — в Индонезии, Гвинее, на Кубе, Филиппинах, в Гвиане и Суринаме.

Пиролюзит-псиломелановые (марганцеворудные) месторождения образуются при выветривании марганецсодержащих метаморфизованных пород. В СССР они развиты на Урале (Полуночное), в Западной Сибири (Мазульское); а за рубежом — 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 минерального 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 содержащиеся 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 воздей-

ствия 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. В СССР месторождения данного типа расположены на Урале (Алапаевское и Синаро-Каменская группа); за рубежом подобные месторождения имеются в Великобритании, ФРГ (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 повышенные концентрации этого элемента, входящего в состав акцессорных 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 черней обусловлено действием различных восстановителей — углистого вещества, битумов, сероводорода и др. Промышленное значение месторождений этого типа достаточно велико. Они известны в СФРЮ, ВНР, СРР, ФРГ, Франции, Великобритании, Италии, 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 изменения является окисление вещества

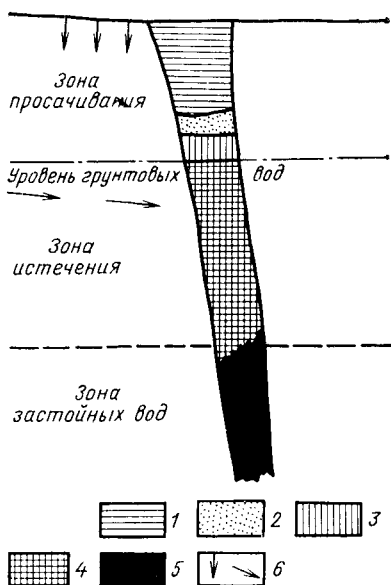


Рис. 25. Строение зоны окисления сульфидного месторождения (по С. С. Смирнову):

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

полезного ископаемого. Интервал 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. 25). 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 окисные 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 этого 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 интен-

сивно обогащается гидроксидами железа, поэтому ее часто называют «железной шляпой».

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

Свинец. Окисление галенита приводит к образованию труднорастворимого сульфата — англезита, накапливающегося в зоне окисления, а в дальнейшем переходящего в труднорастворимый карбонат (церуссит). 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 формы 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, алуниита, 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 соляный 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.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое кора выветривания?
2. Назовите основные физико-химические процессы выветривания и профили коры выветривания.
3. Какие структурно-морфологические особенности характерны для месторождений площадной, линейной и приконтактной коры выветривания?
4. Какие особенности условий залегания, морфологии и вещественного состава свойственны остаточным месторождениям выветривания?
5. Как образуются инфильтрационные месторождения выветривания? Какие полезные ископаемые с ними связаны?
6. Какие изменения вещественного состава и строения происходят при выветривании месторождений полезных ископаемых?

ОСАДОЧНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Условия образования

Осадочные месторождения возникают в процессе осадко-накопления 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 — седименто-, 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 накапливается 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 труднорастворимые 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 кальцита 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 (pH) в водах бассейна и различный окислительно-восстановительный потенциал (Eh), определяемый содержанием растворенного в воде кислорода. Так, снижение величины pH от речных вод к береговым морским, а далее к 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 компонен-

тами 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, конкреционные 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 осуществляется за счет геологической деятельности различных экзогенных агентов — поверхностных текущих 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 переотложению 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.

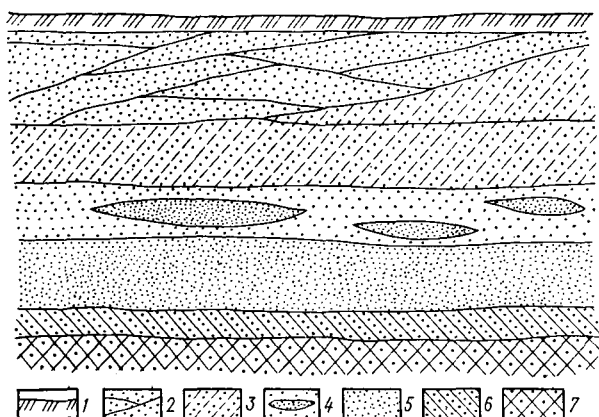


Рис. 26. Геологический разрез Люберецкого месторождения стекольных песков (по М. В. Муратову):

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

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. 26). Разрабатываются месторождения песков различного возраста и происхождения: четвертичные и палеоген-неогеновые (Украина), юрские (Люберецкое), меловые (Скопинское в Рязанской области), раннекаменноугольные (Подмосковье), девонские (Ленинградская область).

Месторождения глин по условиям формирования делятся на делювиальные, аллювиальные, озерные, морские, гляциальные и эоловые. 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 метров. 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 (Часовъярское, 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 позволяет 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 золотые.

Механизм формирования россыпей заключается в сортировке обломочного материала по крупности, плотности и форме частиц, в истирании и окатывании 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 россы-

пей 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. 27), пески (или пласт), торфа (песчано-глинистые осадки) и почвенный слой (отсутствует в русловых россыпях).

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,

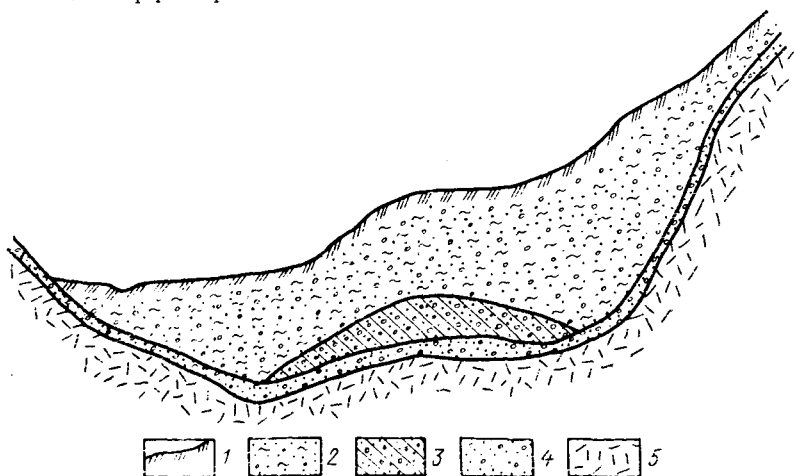


Рис. 27. Строение аллювиальной россыпи (по В. Н. Котляру):

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

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. Абразионные 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 распространены 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) — СССР (Восточная Сибирь — долины рек Алдан, Колыма, Бодайбо), Австралия (Калгурли), США (Аляска, Калифорния), Бразилия.

Платиноносные (элювиальные и аллювиальные) — СССР (Урал), Заир, Зимбабве, Эфиопия, США (Аляска), Колумбия.

Алмазоносные (все генетические типы россыпей) — СССР (Якутия, Урал), Индия, ЮАР, Намибия, Ангола, Танзания, Заир, Австралия, Венесуэла, Гайана.

Касситерит-вольфрамитовые (делювиальные и аллювиальные) — Северо-Восток СССР (Иультин, Пыркакай), Якутия (Омчикандин, Депутатское), Забайкалье (Шерловогорское), Казахстан (Кара-Оба, Богуты); КНР (Нюшипо), Индонезия (Банка), Бирма (Бвабин, Хейда), Конго, Австралия, США (Атолия в Калифорнии), Бразилия.

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

Колумбит-танталовые — СССР, Конго, Заир, Нигерия, Бразилия.

Магнетит-ильменитовые (литоральные) — СССР (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 бассейнах 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 воздействием растворенных в водах электролитов, которые коагулируют коллоиды и переводят 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-пиролузитовый 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 (Джаксык-лыч) 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, за рубежом — в МНР, 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 месторождения приурочены именно к этим структурным элементам земной коры — Предуральскому, Предкарпатскому, Закарпатскому, Донецкому, Предпиринейскому, Предатласскому краевым прогибам, а также к Прикаспийской, Днепровско-Донецкой, Московской, Ангаро-Ленской, Вилуйской, Польско-Германской, Северо-Германской и Внутриамериканской синеклизам.

Крупными месторождениями калийных солей являются Верхнекамское на Урале (рис. 28), Старобинское в Белоруссии,

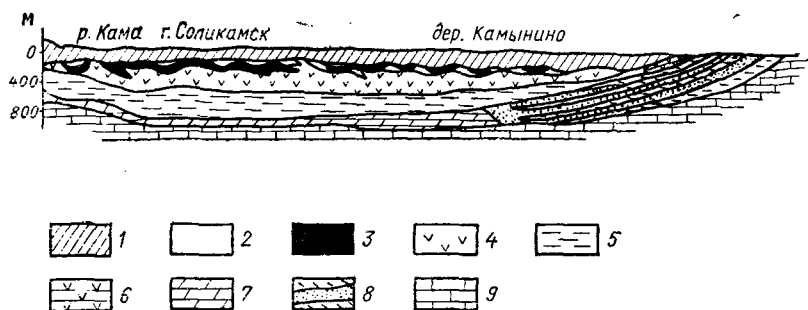


Рис. 28. Геологический разрез Верхнекамского месторождения (по А. А. Иванову):

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

Калуш и Стебник в Западной Украине, а также Страсфуртское в ГДР. Среди месторождений каменной соли широко известны Славяно-Артемовское (Донбасс) и Илецкое (Оренбургская область); за рубежом месторождения имеются также в ФРГ 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), а за рубежом — в Центральной Европе (Лотарингский бассейн), Мали, Австралии, США (Клинтон), Канаде.

Залежи **родохрозит-псиломелан-пиролюзитовых 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 (пиролюзит, псиломелан, марганит), карбонаты (родохрозит, марганокальцит) 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 делят 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 бёмита, 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 ВНР, СФРЮ, 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, фосфоритов, 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 полеогеографическая реконструкция фосфоритоносных бассейнов докембрия и фанерозоя, свидетельствующая о том, что большая часть

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).

В СССР месторождения самородной серы известны в Поволжье (Водинское, Алексеевское, Сюкеевское), Предкарпатье (Роздольское, Язовское, Сорокское), Средней Азии (Гаурдак, Шорсу, Каракумы), а за рубежом — в ПНР, 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. 30).

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, игравшие основную роль на торфяной стадии процесса углеобразования, и вторичные, 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.

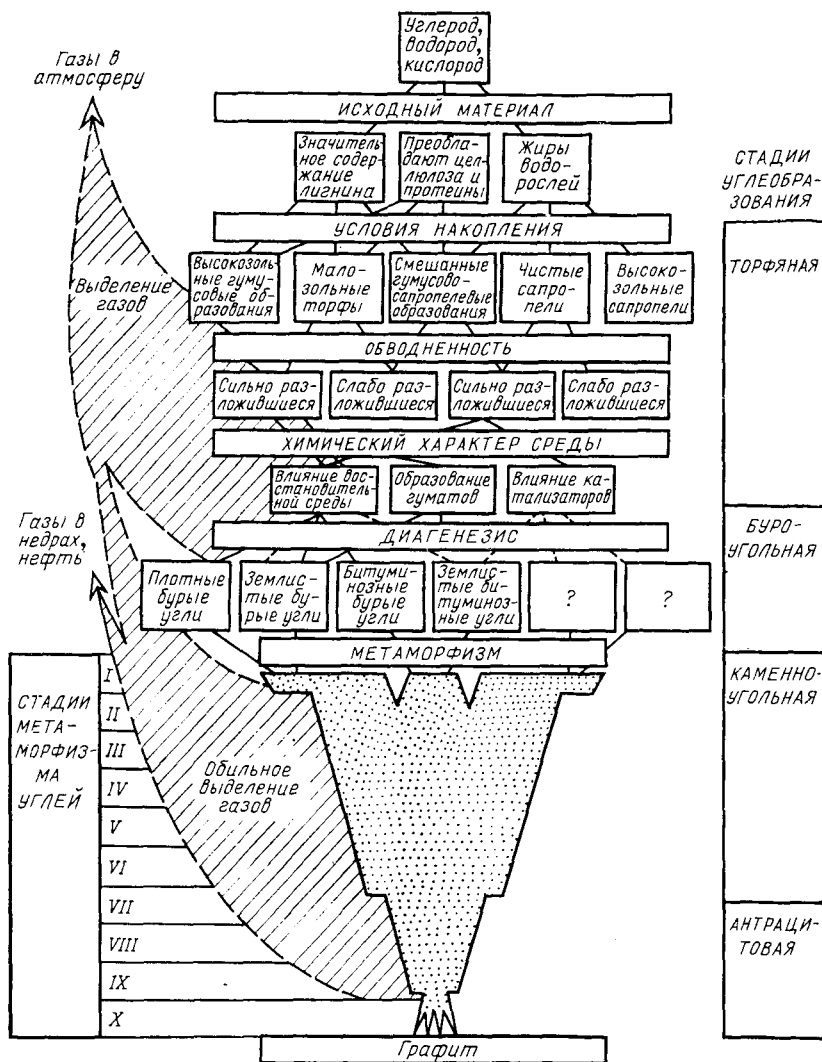


Рис. 30. Схема образования углей (по И. И. Аммосову)

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: акаустиобиолиты и каустиобиолиты.

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

Каустиобиолиты разделяются на три группы:

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

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

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

Т а б л и ц а 4. 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)	Однородные полосчатые (дюреновые, клареновые, фюзено-ксиленовые)
	II. Липтобиолиты (кутиновые элементы, смолы)	Споровый (тасмаснит); кутиколовый (барзасит); коровый (лопенит)
II. Сапропелиты (происходят из низших растений и животного планктона)	III. Собственно сапропелиты	Богхед; марагунит; кеннель; кеннель-богхед; касянит
	IV. Сапроколлиты	Матаганит, хахарейскит

Классификация Г. Потенье была развита Ю. А. Жемчужниковым, который дополнил ее, детализовав исходный материал и условия его превращения (табл. 4). 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. Опишите стадии седиментогенеза и типы дифференциации осадков при формировании осадочных месторождений полезных ископаемых.

2. Какие минералы входят в состав осадочных месторождений?

3. Охарактеризуйте геологические условия образования и полезные ископаемые механических осадочных месторождений.

4. Расскажите об особенностях морфологии, условий залегания и вещественного состава россыпных месторождений.

5. Какие типы россыпных месторождений имеют промышленное значение?

6. Опишите геологические и физико-химические условия формирования химических осадочных месторождений.

7. Дайте характеристику морфологии, условий залегания и вещественного состава химических осадочных месторождений различных промышленных типов.

8. Как формируются биохимические осадочные месторождения фосфоритов и серы? Какими особенностями геологического строения они характеризуются?

9. Как образуются месторождения каустобиолитов?

10. Приведите классификацию твердых горючих ископаемых.

Часть III

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

Металлические руды могут быть монометалльными (железные, хромовые, золотые и т. д.), из которых извлекается в основном один металл, биметалльными, содержащими промышленные концентрации двух металлов (свинцово-цинковые, медно-молибденовые, сурьмяно-ртутные и др.) и полиметалльными, служащими сырьем для получения нескольких металлов (полиметаллические, медноколчеданные, медно-никелевые). Для руд многих месторождений типично наличие 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 карье-

рами. 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 определяющие экономические показатели промышленного освоения.

Контрольные вопросы и задания

1. На какие группы разделяют металлические полезные ископаемые в зависимости от свойств металлов, определяющих направления промышленного использования?

2. Перечислите основные признаки, от которых зависят условия промышленного освоения месторождений металлических полезных ископаемых.

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, кобальта, вольфрама, молибдена, ниобия и других легирующих металлов существенно улучшает качество сталей, повышает их механическую прочность, вязкость, антикоррозионные свойства, кислотоупорность, жаростойкость и т. д. Присутствие бора повышает полезное действие других легирующих элементов. Некоторые разновидности железных руд применяются в химической промышленности для получения красок, а также в нефтяной промышленности (магнетит) в качестве утяжелителя глинистых растворов при бурении скважин.

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 СССР насчитывается около $\frac{1}{3}$ общи 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 СССР 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. СССР 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 дол. за 1 т (с доставкой покупателю), на окатыши достигает 30 дол. за 1 т.

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; титаномагнетитовые; гематитовые и гидрогематитовые; бурожелезняковые; сидеритовые; железисто-хлоритовые (силикатные). Минимальное содержание железа в рудах, пригодных для непосредственной плавки в домнах, должно быть таким (в %): в магнетитовых, титаномагнетитовых и гематитовых — 46—50, в бурожелезняковых — 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 %.

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

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.

Богатые железные руды ($\text{Fe} > 57\%$, $\text{SiO}_2 < 8\text{—}10\%$, S , $\text{P} < 0,15\%$) идут на изготовление стали, минуя доменный процесс; они могут непосредственно поступать в конвертерное, мартеновское или бессемеровское производство. Наиболее богатые железные руды ($\text{Fe} > 68\%$, $\text{SiO}_2 < 2\%$, S , $\text{P} < 0,01\%$) используются для получения металлизированных окатышей, которые затем передают в электросталеплавильное производство.

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 основных 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 СССР на Урале (Кусинское, Качканарское, Гусевогорское, Первоуральское), Карелии (Пудожгорское); Забайкалье (Чинетское), за рубежом в США (Тега-вус), Канаде, Швеции (Таберг), Норвегии (Телнесс).

Качканарское месторождение, являющееся сырьевой базой крупного горно-обогатительного комбината, приурочено к габбро-пироксенитовому массиву площадью около 100 км². На месторождении выявлены протяженные наклонные залежи вкрапленных и полосчатых титаномагнетитовых руд. Помимо главного минерала — титаномагнетита, руды содержат второстепенные рудные минералы — пирит, пирротин, реже халькопирит, борнит. Нерудные минералы представлены пироксенами, амфи-

болами, оливином, серпентином, плагиоклазами и др. Типы руд выделяются по структурным признакам (по размеру вкраплений). Руды комплексные (с титаном и ванадием), содержание железа 14—34 % (среднее 16,6 %), сера и фосфор практически отсутствуют. Запасы руд 2,6 млрд. т. Месторождение разрабатывается открытым способом.

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 СССР относятся месторождения на Балтийском щите (Ковдорское), а за рубежом — на Африканской платформе (Люлекоп, ЮАР; Дорова, Зимбабве; Сукулу, Уганда), в Канаде и Бразилии.

Ковдорское месторождение в Мурманской области приурочено к массиву ультраосновных — щелочных пород и карбонатов площадью 40 км². Магнетитовые руды и магнетитсодержащие породы слагают рудное тело протяженностью более 1,3 км и шириной 100—800 м, которое залегает среди ийолитов и пироксенитов (рис. 31). Преобладают руды с небольшим содержанием кальцита, состоящие из магнетита, апатита, форстерита и

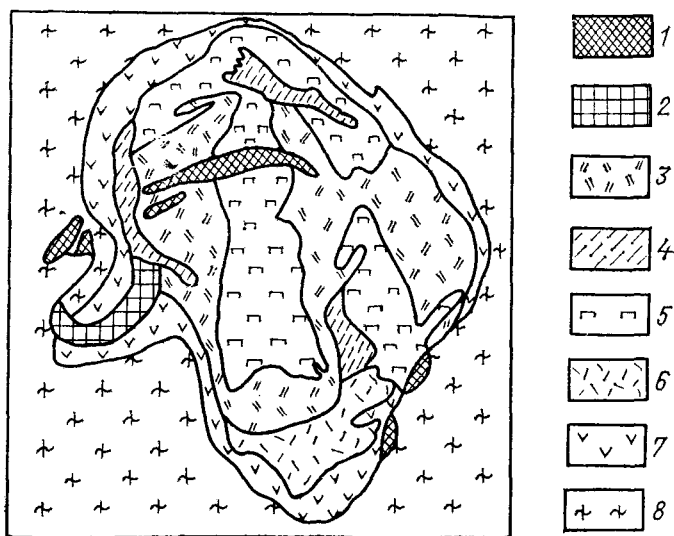


Рис. 31. Схема геологического строения Ковдорского массива (по В. И. Терновому, Б. Н. Сулимову, Б. В. Афанасьеву с упрощениями):

1 — карбонатиты; 2 — железные руды; 3 — флогопитизированные оливиниты; 4 — гранатовые породы; 5 — оливиниты, пироксениты; 6 — слюдиты; 7 — ийолиты, ийолит-уртиты; 8 — граниты, гнейсограниты

флогопита с различным количественным соотношением минералов. По текстурам руды делятся на полосчатые, вкрапленные, пятнистые и массивные. Содержания отдельных компонентов в рудах следующие (в %): железа 20—55 (в среднем 29); фосфора 2,9; серы 1,2. Разведанные запасы магнетитовых руд составляют 700 млн. т. Месторождение разрабатывается открытым способом.

Гидротермальные вулканогенные месторождения, связанные с траппами Сибирской платформы, локализуются в палеозойских отложениях ее чехла — карбонатных и песчано-сланцевых, а также 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 магния и относится к магномagnetиту. 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, Тагарское.

Коршуновское месторождение (Ангаро-Илимский железорудный район) размещается в пределах крыла антиклинального поднятия. Оруденение локализуется в двух жерлах древних вулканов, заполненных метасоматически-измененными туфогенными породами. Выделяются штоки, линзы, пласто- и столбообразные тела и крутопадающие жилы магнетитовых руд. Основная залежь простирается на 2,5 км при ширине 400—600 м. Второе рудное тело имеет форму, близкую к изометричной с сечением 500 м. На глубину рудные тела прослежены до 1100 м. Наиболее широко распространены брекчиевые и вкрапленные руды, реже встречаются массивные. Среднее содержание (в %): железа 34,4 (от 15 до 60); серы 0,02; фосфора 0,2. Руды хорошо обогащаются. Запасы их, пригодные к отработке карьером, составляют более 400 млн. т.

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. Вмещающими являются карбонатные,

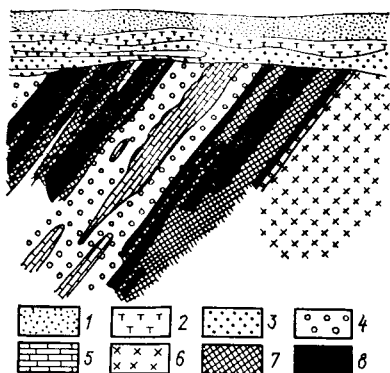


Рис. 32. Геологический разрез Сарбайского месторождения (по И. А. Кочергину и В. А. Адатчуку):

1 — пески, сланцеватые глины; 2 — опока; 3 — кварцевые пески и песчаники; 4 — скарны; 5 — ороговикованные карбонатные породы; 6 — порфиры; 7—8 — руды: 7 — скарновые, 8 — магнетитовые

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 СССР на Урале (Высокогорское, Гороблагодатское), в Казахстане (Соколовское, Сарбайское, Качарское), Западной Сибири (Таштагольское, Абаканское), на Кавказе (Дашкесан). За рубежом крупные скарновые железорудные месторождения известны в США (Айрон-Спрингс, Адирондак), Италии, НРБ, СРР (Банат), Марокко (Риф), Японии, КНР.

Сарбайское месторождение, находящееся в Кустанайской области, локализовано в экзоконтактовой зоне диоритового интрузивного массива. Месторождение состоит из трех крупных пластообразных залежей, прослеженных по простиранию на 15—20 км и по падению до 1 км, при мощности 170—185 м (рис. 32). Рудные тела залегают среди метасоматических измененных вулканогенных и осадочных пород — андезитовых порфиритов, их туфов, туффигов, известняков, песчаников, туфолов базальтового состава и др. Для месторождения характерно широкое развитие тектонических нарушений, в том числе послерудных, обусловивших блоковые смещения рудных тел, дробление руд и вмещающих пород. В пределах залежей магнетитовые руды, оруденелые скарны и роговики чередуются с прослоями безрудных пород.

Магнетитовые руды составляют основную часть запасов и представлены сплошными (содержание $Fe > 50\%$) и вкрапленными (20—50 %) разностями. Сульфидные руды находятся

в подчиненном количестве. Текстуры магнетитовых руд полосчатые. Кроме магнетита в них присутствуют пироксен, скаполит, гранат, альбит, эпидот, актинолит, апатит, пирит, кальцит, кварц и др. Среднее содержание (в %): железа 45,6; серы 4,1; фосфора 0,13. Разведанные запасы месторождения — 700 млн. т. Месторождение эксплуатируется преимущественно открытым способом. Около 2 % объема добычи дает подземная разработка.

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 СССР 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.

Криворожский железорудный бассейн (Кривбасс) занимает площадь более 300 км². Продуктивным является отдел криворожской серии протерозоя, в разрезе которого чередуют железистые и сланцевые горизонты. Геологическая структура Кривбасса очень сложная. Образованные породами криворожской серии синклинорий и складчатые структуры осложнены многочисленными сбросами, надвигами, изоклинальной складчатостью, пльчатостью и др. Железистые горизонты (их насчитывают до девяти) сложены магнетитовыми, гематит-мартитовыми, гидрогематитовыми рудами и джеспилитами с содержанием железа 24—45 %. Запасы железистых кварцитов составляют 18 млрд. т.

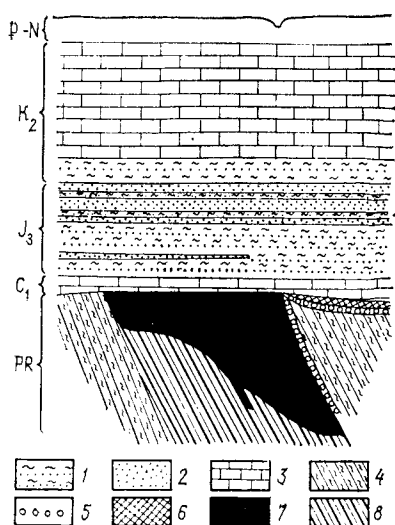
Среди железистых роговиков и кварцитов располагаются залежи богатых сплошных железных руд. В бассейне установлено около 300 рудных залежей пластовой, линзовидной, штоко- и столбообразной формы, приуроченных к крыльям и шарнирам складок, зонам дробления и трещиноватости. Размеры залежей по простиранию от 100 до 1000 м, мощность их от 10 до 100 м, на глубину они прослежены до 800 м, иногда до 1400 м. Среди богатых руд выделены следующие разности: мартитовые и гематит-мартитовые (наиболее широко распространены), мартит-гематит-гидрогематитовые, гематит-гидрогематитовые, магнетитовые. Богатые руды характеризуются высоким содержанием железа (54—64 %) и низким серы и фосфора; присутствуют также марганец и ванадий. Запасы богатых руд более 1,5 млрд. т. Разработка месторождений ведется подземным способом.

Железорудный бассейн КМА имеет площадь 70 тыс. км². В его пределах развит комплекс интенсивно дислоцированных и метаморфизованных пород докембрия (кристаллические сланцы, гнейсы, железистые кварциты, известняки), который перекрыт горизонтально залегающей осадочной толщей (глины, известняки, пески, песчаники). Мощность осадочных пород колеблется от 36 до 600 м. Железистые кварциты КМА по составу и текстуре близки криворожским. В описываемом районе это мощные пласты магнетитовых и железно-слюдковых кварцитов. Среднее содержание железа составляет 32—36 %.

Богатые руды КМА представлены преимущественно мартитовыми, сидерит-мартитовыми и железно-слюдковыми (гематитовыми) разностями, залегающими на железистых кварцитах в виде крупных линз и пластообразных тел. Залежи имеют протяженность от 3,5 до 30 км при ширине от 100 до 3000 м и мощности от 9 до 120 м. Нижняя граница их изменчива, богатые руды в виде языков и карманов уходят в железистые кварциты на значительную глубину (300—400 м) от поверхности докембрийского фундамента (рис. 33). Руды отличаются высоким содержанием железа (48—69 %) и низким кремнезема, серы и фосфора. Прогнозные ресурсы КМА до глубины 700 м оцени-

Рис. 33. Геологический разрез Яковлевского месторождения КМА (по Н. С. Чайкину):

1 — суглинки, пески, глины; 2 — песчаники; 3 — мел, мергели, известняки; 4 — гнейсы, кварцевослюдистые сланцы; 5 — бокситы; 6—7 — руды: 6 — переотложенные, 7 — богатые; 8 — железистые кварциты



ваются в 850 млрд. т, богатых железных руд — до глубины 1200 м — в 80 млрд. т. Большинство месторождений разрабатываются открытым способом.

Бассейн штата Минас-Жерайс расположен в центральной части Бразилии в пределах так называемого «Железорудного четырехугольника». Здесь архейские кристаллические сланцы и гнейсы несогласно перекрываются нижнепротерозойскими кварцитами, сланцами, филлитами, которые включают свиту тонкослоистых и массивных гематитовых руд и мартит-магнетитовых кварцитов с прослоями и линзами марганцевых руд. Зона гематитовых руд и кварцитов имеет площадь 150×75 км и среднюю мощность 150 м. Структура руд тонко- и мелкозернистая. Содержание железа в богатых рудах 63—68 %; запасы 30 млрд. т.

В *бассейне оз. Верхнего* (США) развиты нижнепротерозойские железистые кварциты, сланцы и безрудные кварциты, которые подстилаются кварцитами, конгломератами, архейскими гранитами и гнейсами, а перекрываются песчаниками и покровами основных лав. На месторождении Месаби железистые кварциты образуют четыре продуктивных горизонта мощностью более 200 м в зоне площадью $150 \times (3-16)$ км. Руды по составу кварц-гематитовые, кварц-магнетитовые, мартитовые и гематитовые. Содержание железа в богатых рудах 50—62 %, серы и фосфора до 0,1 %. Запасы богатых руд 2 млрд. т., железистых кварцитов до 40 млрд. т.

Вулканогенно-осадочные магнетит-гематитовые месторождения располагаются в синклинальных зонах эвгеосинклинальных

областей. Месторождения связаны с вулканогенными фациями и залегают среди туфов и туффитов 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 СССР относятся Западный Каражал (Казахстан), Холзунское (Горный Алтай), Терсинская группа (Кузнецкий Ала-тау), а за рубежом — Лан, Дилль (ФРГ), Гара Джебилет и Мешери Абделазиз (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 природнолегированных бурых железняков развиты преимущественно пластообразные залежи и покровы. Для руд характерны землистые и колломорфные 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 СССР 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 СССР мелкие месторождения этого типа известны на Урале (Алапаевское, Синаро-Каменское). За рубежом крупные месторождения выявлены в Великобритании и ФРГ.

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, гидрогётитовые 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 —

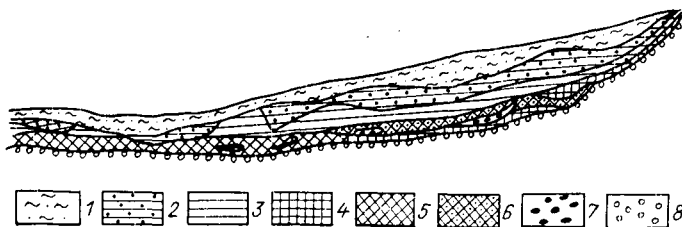


Рис. 34. Геологический разрез Камыш-Бурунской мульды (по Ю. Юрку и др.):

1 — известковые суглинки; 2 — песчанистые глины; 3 — глины; 4–6 — руды: 4 — «табачные», 5 — «коричневые», 6 — «икряные»; 7 — глинистые песчаники; 8 — глинистые ракушечники

сотни миллионов — миллиарды тонн. В СССР 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.

Керченский железорудный бассейн занимает площадь более 250 км². Рудные залежи локализуются в мульдах и прогибах, где подстилаются известняками и глинами, а перекрываются глинами с примесью песчанистого и алевролитового материала (рис. 34). Мощность рудных пластов в центральных частях составляет 25—40 м, на флангах снижается до 0,5 м. Глубина залегания их от 0 до 250 м. Руды по строению оолитовые, по составу делятся на «табачные», «коричневые» и «икряные» (последние содержат марганец, встречаются редко).

«Табачные» руды сложены оолитами бурого железняка, заключенными в сидерит-шамозитовый цемент. Среднее содержание железа в них 39,5 %. «Коричневые» руды представляют собой гидрогётитовые и бурожелезняковые оолиты с охристо-глинистым цементом. Содержание отдельных компонентов в них следующее (в %): железа 37,7; MnO 3,0; фосфора 1,0; серы 0,06. Запасы руд бассейна оцениваются в 1,7 млрд. т, в том числе 560 млн. т «коричневых» руд.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите области применения железа.
2. Приведите сведения о запасах и добыче железных руд в СССР и зарубежных странах.
3. Какие минералы и типы руд железа имеют промышленное значение? Каковы основные показатели кондиций по типам руд?
4. Дайте общую характеристику геологического строения и вещественного состава магматических железорудных месторождений. Приведите примеры.

5. Расскажите о морфологии, условиях залегания и вещественном составе гидротермальных и скарновых железорудных месторождений. Приведите примеры.

6. Какие особенности геологического строения и вещественного состава характерны для метаморфогенных железорудных месторождений? Приведите примеры.

7. Опишите особенности морфологии, условий залегания и вещественного состава осадочных железорудных месторождений.

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.

Запасы и добыча. Общие мировые запасы марганцевых руд составляют 18,0 млрд. т, в том числе 2,4 млрд. т в СССР, 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 СССР (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 СССР находятся на Украине и в Грузии; относительно небольшие месторождения известны на Урале, в Казахстане, в Западной Сибири, на Дальнем Востоке. В Советском Союзе 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 СССР. В значительных размерах (1,7—5,5 млн. т) ведут добычу марганцевых руд ЮАР, Бразилия, Австралия, Габон, Индия. Стоимость 1 т руды около 70 дол., ферромарганца — 400 дол.

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 $\text{MnO}_2 \cdot \text{Mn}(\text{OH})_2$ (50—62 %), псиломелан $m\text{MnO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (40—60 %), родохрозит MnCO_3 (40—45 %) и манганокальцит $(\text{Ca}, \text{Mn})\text{CO}_3$ (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 %).

Типы промышленных месторождений

Промышленное значение имеют марганцевые месторождения следующих типов: гидротермальные; скарновые; метаморфизованные (браунит-гаусманитовые); вулканогенно-осадочные (браунит-гаусманит-псиломелановые); остаточные выветривания (пиролюзит-псиломелановые); осадочные (родохрозит-псиломелан-пиролюзитовые). В СССР основную роль играют осадочные 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 СССР 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 том числе 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 СССР 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 пиролюзитом и псиломеланом, характерны рыхлые (выщелачивания) и колломорфные (в перетолженных 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 СССР 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 текстуре 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 круп-

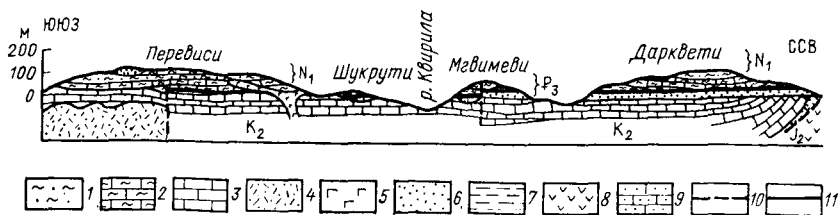


Рис. 35. Схематический геологический разрез центральной части Чиатурского месторождения (по Г. Авалиани, В. Табагари):

1 — песчаные 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 — песчаные известняки; 10 — разрывные тектонические нарушения; 11 — марганцевый горизонт

ные месторождения осадочного типа расположены в СССР (Никопольское и Больше-Токмакское на Украине, Чиатурское в Грузии), а также в Габоне (Моанда), ЮАР, КНР, США, Италии, Испании.

В *Никопольском бассейне* полого (5—7°) падающий на юг 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. Руды перекрыты песками и глинами верхнего палеогена мощностью от 15 до 80 м. В пределах рудного пласта на площади выделяются зоны оксидных (пиролюзитовых и марганитовых), оксидно-карбонатных и карбонатных марганцевых руд. Оксидные руды по происхождению могут быть первичными, образованными в прибрежных зонах морских бассейнов, и вторичными, возникшими при окислении карбонатных руд в поверхностных условиях. По структурно-текстурным особенностям среди первичных оксидных руд выделяют несколько разновидностей: конкреционные, при обогащении которых получают концентраты с содержанием марганца более 50 %; пористые гидроксидные, концентраты которых содержат 40—42 % марганца; «сажистые» с содержанием марганца 10—15 %, не обогащаемые. В исходных рудах содержание марганца варьирует от 15—25 до 35 %.

Чиатурское месторождение (рис. 35) 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 оксидные — пиролюзитовые, марганитовые 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 оксидные пиролюзитовые руды.

Огромные запасы марганцевых руд сосредоточены в **железо-марганцевых 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 гидрооксидами марганца и железа — вернадитом и гидрогётитом. США, ФРГ 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.

Контрольные вопросы и задания

1. В каких областях промышленности используется марганец?
2. Как распределены по странам запасы и добыча марганцевых руд?
3. Какие минералы и типы руд и месторождений марганца имеют промышленное значение?
4. Расскажите об особенностях морфологии, условий залегания и вещественного состава осадочных марганцевых месторождений. Приведите примеры.

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.

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 СССР) 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 дол.

СССР 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.

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 алюмохромит.

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 $Cr_2O_3 : FeO$ 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 %.

Типы промышленных месторождений

Среди месторождений хромитов выделяют следующие типы: раннемагматические (для СССР не имеют существенного значения), позднемагматические и россыпные (несущественны).

Раннемагматические месторождения представлены пластообразными телами хромитовых руд в расслоенных интрузивных массивах ультраосновных пород. Уникальными по запасам (более 500 млн. т) являются Бушвельдский массив в ЮАР и месторождения Великой Дайки в Зимбабве.

Великая Дайка, пересекающая с юга на север центральную часть Зимбабве, имеет вертикальное падение, протяженность 500 км, ширину 3—13 км. Дайка стратифицирована, в ее строении (от подошвы к кровле) принимают участие серпентинизированные дуниты, гарцбургиты (перидотиты), пироксениты, габбро, нориты. Пластообразные залежи хромитов размещаются в нижней части массива среди дунитов и гарцбургитов. Они включают большое (до 11) число рудных прослоев мощностью до 70 см каждый, разделенных безрудными зонами. Руды высоко-

кокачественные (48—50 % Cr_2O_3). Общие запасы хромитов 700 млн. т.

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 СССР рас-

пространены на Урале (Кемпирсайское, Алапаевское, Сарановское, Донское) и на Кавказе (Шоржинское). За рубежом месторождения известны в Албании, Греции, СФРЮ, Турции (Гулеман), Индии, на Кубе (Каледония).

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. 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, серпенти-

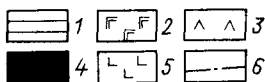
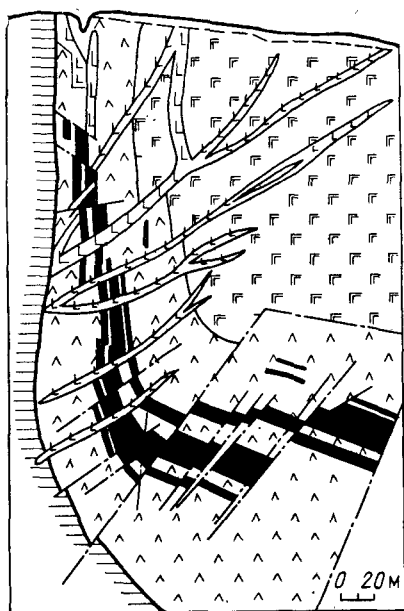


Рис. 36. Геологический разрез Сарановского месторождения (по Г. Г. Кравченко и др.):

1 — кристаллические сланцы; 2 — габбро и габбро-нориты; 3 — перидотиты; 4 — густовкрапленные и массивные хромитовые руды; 5 — жилные породы — габбро-диориты, порфириты и др.; 6 — тектонические разрывные нарушения

на, хромдиоксида, 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 богатокрапленых 45—55 %.

Сарановское месторождение (Пермская область) приурочено к одноименному габбро-перидотитовому массиву протяженностью до 2 км и шириной до 200 км. Массив залегает среди позднепротерозойских кварц-слюдяных сланцев и имеет крутое падение (рис. 36). Рудоносная зона шириной 40—45 м включает три жиллообразных залежи, расположенных в центральной части массива. Протяженность рудных тел от 900 до 1200 м, мощность от 3 до 10 м. Они сложены массивными и густокрапленными хромитовыми рудами, в состав которых входят оливин, пироксены, магнетит, флогопит, тальк, магнезит, кварц, 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 не пригодны для выплавки феррохрома.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите основных потребителей хромитов.
2. В каких странах сосредоточены основные запасы и добыча хромитовых руд?
3. Каковы показатели кондиций для хромитовых руд?
4. Дайте характеристику морфологии, условий залегания и вещественного состава магматических хромитовых месторождений. Приведите примеры.

ТИТАН

Общие сведения

Применение. Титановые сплавы благодаря термической и химической стойкости применяются в космической технике, авиационной, судостроительной, энергомашиностроительной, химической, пищевой и медицинской промышленности, в гидрометаллургии. Широко используются титано-ванадиевые сплавы, обладающие прочностью и ковкостью; карбид титана служит для изготовления сверхтвердых сплавов; диоксид — для производства белил, пластмасс, в целлюлозно-бумажной промышленности.

Запасы и добыча. Общие запасы диоксида титана в капиталистических и развивающихся странах составляют 580 млн. т (1/3 рутила, 2/3 ильменита). Более 80 % запасов приходится на Бразилию, Канаду, США, Норвегию, Индию, Австралию.

Значительные запасы титановых руд сосредоточены в месторождениях Кольского полуострова, Украины и Урала.

По масштабам запасов диоксида титана (в млн. т) месторождения разделяют на очень крупные (>10), крупные ($1-10$), средние ($0,1-1$) и мелкие ($<0,05-0,1$).

В капиталистических и развивающихся странах получают 6 млн. т титановых концентратов, в т. ч. 90 % ильменитового и 10 % рутилового. Ведущие страны по производству титановых концентратов — Австралия, Канада, США, ЮАР, Норвегия. В ряде стран производят синтетический рутил из ильменита. Цены на ильменитовый концентрат около 50—70 дол/т, рутиловый — 500 дол/т.

Геохимия и минералогия. Кларк титана 0,45 %. Повышенные его содержания характерны для основных и средних интрузивных пород. Коэффициент концентрации титана низкий (до 20). Из 70 титаносодержащих минералов промышленными являются ильменит FeTiO_3 (31,6 %) и рутил TiO_2 (60 %), обычно содержащие также примеси ванадия, скандия, тантала и ниобия. Титан извлекают также из титаномагнетита, представляющего собой магнетит с вростками ильменита, если размер включений превышает 0,3 мм. При комплексной переработке сырьем для получения титана может служить лопарит (Na, Ce, Ca) (Nb, Ti) O_3 (26,6 %).

Типы руд и кондиции. Промышленными являются только оксидные титановые руды. Кондиционное содержание TiO_2 в коренных месторождениях — более 10 %. Промышленные россыпи должны содержать ильменита не менее 10—20 кг/т, рутила более 1,5 кг/т. К вредным примесям относятся хром, фосфор, сера.

Типы промышленных месторождений

Промышленное значение имеют магматические (55 % запасов и 45 % добычи), россыпные (43 % запасов и 55 % добычи) и, отчасти, метаморфогенные (2 % запасов) месторождения титана.

Среди **магматических месторождений** выделяют несколько типов в зависимости от вещественного состава руд и вмещающих пород. Главными из них являются следующие: ильменитовые в анортозитовых и габбро-анортозитовых массивах; титаномагнетитовые в габбровых и габбро-дунит-перидотитовых массивах; перовскит-титаномагнетитовые в ультраосновных — щелочных породах; лопаритовые и ильменит-перовскит-сфеновые в щелочных породах.

Наиболее крупные титановые месторождения связаны с анортозитовыми и габбро-анортозитовыми массивами. В СССР месторождения этого типа находятся в Восточном Саяне (Малотагульское, Лысанское, Кручинское). За рубежом наиболее

крупными являются месторождения Канады (Лак-Тию), США (Тегавус), Танзании (Укинга, Уванджи).

Малотагульское месторождение в Иркутской области приурочено к крупному габбро-анортозитовому массиву. Гудные тела имеют крутое падение, прослежены до глубины 300 м при протяженности по простиранию от 100 до 850 м.

Титаносырые россыпи разделяют на прибрежно-морские и континентальные. Прибрежно-морские россыпи обычно являются комплексными — ильменит-рутил-цирконовыми. Это пласты, линзы, лентообразные залежи с содержанием TiO_2 от 0,5 до 35 %. Подобные месторождения имеются в Западной Австралии, Индии, Шри-Ланке, Сьерра-Леоне, Бразилии, США. В СССР древние прибрежно-морские россыпи располагаются на Украине, в Ставропольском крае, Зауралье, Тургайском прогибе, Прибайкалье.

Правобережное месторождение на Украине приурочено к палеоген-неогеновым отложениям мощностью от 10 до 60 м. Гудные залежи имеют пластообразную форму, содержат ильменит, рутил, циркон, дистен, силлиманит, турмалин. Зерна минералов обычно мелкие, хорошо окатанные.

Континентальные россыпи локализуются в аллювиальных, элювиальных и пролювиальных отложениях различного возраста — мелового, палеогенового, четвертичного. Гудные минералы (ильменит) накапливаются в нижних горизонтах в наиболее грубообломочных породах. Содержание ильменита варьирует от нескольких десятков до нескольких сотен килограммов на кубический метр. В *Иришинском месторождении* (Украина) четвертичные россыпи имеют мощность 1—15 м; содержание ильменита от $n \cdot 10$ до 200 кг/м³.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие свойства титана определяют направления его промышленного использования?
2. Приведите данные о запасах и добыче титана в СССР и за рубежом.
3. Расскажите об особенностях геохимии и минералогии титана.
4. Дайте характеристику геологического строения и вещественного состава магматических и россыпных месторождений титановых руд.

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.

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 6,0 млн. т, достоверные — 4,8 млн. т (Заир, Индонезия, о. Новая Каледония, Замбия, Канада, Филиппины). Основными производителями кобальта (26,8 тыс. т в год без СССР) являются Заир, Замбия, Австралия, Канада, Финляндия. Цены на мировом рынке на никель достигают 4,9—7,1 дол. за 1 кг, на кобальт — 25,6 дол. за 1 кг.

По масштабам запасов (в тыс. т) месторождения делят на весьма крупные ($>500 \text{ Ni}$ или $>50 \text{ Co}$); средние ($100\text{—}250 \text{ Ni}$, $10\text{—}25 \text{ Co}$); мелкие ($<100 \text{ Ni}$, $<10 \text{ Co}$).

В СССР крупные месторождения комплексных сульфидных руд расположены в Норильском районе и на Кольском полуострове, месторождения силикатных руд — на Урале, в Казахстане, на Украине.

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 (65 %), никелин NiAs (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 ревдинскит $(\text{Ni}, \text{Mg})_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot (\text{OH})_8$ (51 % NiO). Кобальт образует 25 минералов. Промышленное значение имеют линнеит Co_3S_4 (40—53 %), кобальтин CoAsS (26—34 %), саффлорит $(\text{Co}, \text{Fe})\text{As}_2$ (6—23 %), кобальтсодержащие (до 3 %) пентландит и пирит, асболан $m(\text{Co}, \text{Ni})\text{O}_2 \cdot \text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (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 со-

ответственно 0,6 и 0,037 %. Сульфидные руды часто являются комплексными и содержат медь, металлы платиновой группы, золото и серебро, селен и теллур.

Типы промышленных месторождений

Выделяют следующие промышленные типы месторождений никеля и кобальта: магматические ликвационные; гидротермальные плутоногенные высоко- и среднетемпературные; скарные; 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 1,0 % 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, вулканогенных 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 (0,000*n*—0,0*n* %), золото, серебро, селен, теллур, серу. Запасы руды ликвационных месторождений — сотни миллионов тонн.

Ликвационные магматические месторождения пентландит-

халькопирит-пирротиновых руд известны в СССР 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).

Талнахское и Октябрьское месторождения в Красноярском крае связаны с дифференцированным интрузивом габбро-долеритов и приурочены к его ветвям пласто- и корытообразной формы мощностью до 200—250 м. Талнахское месторождение располагается в верхнем рудоносном горизонте среди песчано-сланцевых пород тунгусской серии (пермь — карбон), а Октябрьское — в нижнем рудоносном горизонте на глубинах более 400—600 м среди карбонатно-глинистых и сульфатных пород девона. Месторождения разобщены главным швом глубинного разлома. Складчатые и разрывные нарушения, оперяющиеся разломом, создают сложное блоковое строение рудного поля.

Гудные тела локализуются в основном в зоне нижнего эндо- и экзоконтакта интрузивов (рис. 37) и в плане повторяют их контуры. Главные промышленные типы руд: вкрапленные в интрузиях (77 % от общей массы руд), сплошные сульфидные (10 %) в интрузиях и вмещающих породах, прожилково-вкрапленные (13 %) в породах экзоконтакта. По составу выделяют пирротиновые, кубанитовые и халькопирит-талнахитовые руды

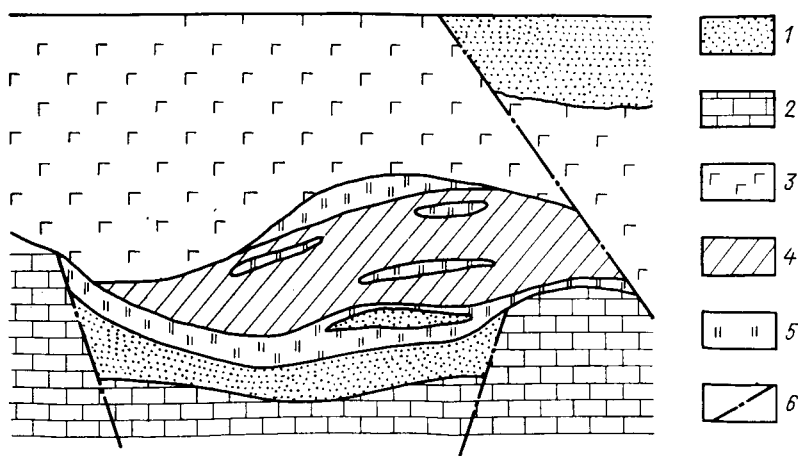


Рис. 37. Геологический разрез Талнахского месторождения (по В. Н. Котляру):

1 — песчаники; 2 — известняки и ангидриты; 3 — дифференцированные габбродiorиты с вкрапленным оруденением в нижней части; 4 — залежь сплошных сульфидных руд; 5 — экзоконтактовые вкрапления руды в измененных вмещающих породах; 6 — разрывные нарушения

с различным содержанием пентландита, а также миллерит-борнит-халькопиритовые и пиритовые руды.

Текстуры руд массивные, брекчиевые, вкрапленные и прожилково-вкрапленные.

Площадь *месторождения Садбери* сложена мощной (более 10 км) толщей метаморфических пород архея и протерозоя, перекрытых маломощным платформенным чехлом палеозойских осадков. Протерозойские отложения развиты в пределах синклинального прогиба на архейском основании; они осложнены субширотными и субмеридиональными разломами. К участку пересечения последних в краевой части прогиба приурочен рудonosный массив (лополит) Садбери. В плане он имеет овальную форму, размеры 60×25 км (см. рис. 10) в разрезе — форму опрокинутого конуса, вершина которого находится на глубине 10—25 км. Массив является дифференцированным, образован сложной серией пород — от габбро и норитов внизу до кварцевых габбро и микропегматитов в верхней части.

Рудным телам свойственна пласто-, жилообразная и линзовидная форма. Они залегают как в пределах самого массива, так и в подстилающих породах. Выделяются два типа руд: бедные вкрапленные, формирующие донные залежи, и богатые массивные, слагающие инъекционные тела в поздних дифференциатах и подстилающих породах. Главные рудные минералы — пирротин, пентландит, халькопирит и кубанит; второстепенные — ильменит, магнетит, никелистый пирит, никелин, борнит и др. Текстуры руд массивные, брекчиевые, вкрапленные, прожилковые. Содержание никеля в рудах составляет 1,5—2,2 %, подтвержденные запасы на начало 1986 г. — 5,2 млн. т, ежегодная добыча — около 136 тыс. т никеля.

Гидротермальные плутогенные месторождения подразделяются на высокотемпературные арсенопирит-кобальтиновые, среднетемпературные никель-кобальт-арсенидные и серебро-кобальт-никель-висмут-урановые. Из перечисленных типов гидротермальных месторождений значительными в СССР 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. тонн. В СССР к месторождениям дан-

ного типа относится Ховуаксы в Тувинской АССР. 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 (Гогожинское на Урале, месторождения на о. Новая Каледония); контактово-карстовые, приуроченные к тектоническим контактам серпентинитов и известняков (Уфалейское на Урале).

Выделяются следующие разновидности рудных залежей: пластообразные мощностью 20—70 м и площадью в несколько квадратных километров; жилы мощностью от 0,1 до 40 м, выполняющие тектонические трещины и прослеживаемые на глубину 50—100 м; линзовидные тела в контактовых зонах карбонатных пород. В составе руд присутствуют гидросиликаты никеля — гарниерит, ревдинскит, 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.

Сахаринское месторождение (Южный Урал), относящееся к типу площадных кор выветривания, состоит из ряда зон различного состава. Верхняя зона (мощность 0—25 м) сложена охристо-кремнистыми породами, содержащими гидроксиды железа и марганца. Вторая зона (10—30 м) представлена нонтронитами и нонтронитизированными серпентинитами. Далее следует зона выщелоченных серпентинитов (10—30 м), а затем зона дезинтегрированных серпентинитов (до 45 м). Рудные тела имеют пластообразную форму (рис. 38). Они залегают в верхней части

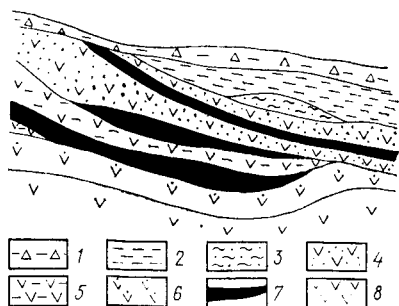


Рис. 38. Схема строения коры выветривания Сахаринского месторождения силикатных никелевых руд (по В. А. Сысоеву с упрощениями):

1—3 — глины: 1 — антропогена, 2 — неогена, 3 — позднего олигоцена; 4 — охристо-кремнистые образования; 5 — нонтронитизированные серпентиниты; 6 — выщелоченные породы; 7 — рудные тела; 8 — аподунитовые серпентиниты, затронутые выветриванием

охристо-кремнистой зоны, в верхней и нижней частях нонтроитовой зоны; суммарная мощность рудных тел изменяется от 3 до 25 м. Содержание никеля в рудах варьирует от 0,3 до 12,8 %.

Контрольные вопросы и задания

1. В каких областях промышленности применяются никель и кобальт?
2. Как распределены по странам запасы и добыча никелевых и кобальтовых руд?
3. Назовите промышленные минералы и типы руд никеля и кобальта.
4. Дайте характеристику геологического строения и вещественного состава ликвационных магматических месторождений сульфидных руд. Приведите примеры.
5. Расскажите об особенностях морфологии, условий залегания и вещественного состава кобальт-никелевых остаточных месторождений выветривания. Приведите примеры.

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.

Запасы и добыча. Общие запасы WO_3 в мире (без СССР) составляют 2,5 млн. т, достоверные — 1,8 млн. т. Основная их часть (>65 %) выявлена в США, Канаде, Турции, Австралии и Южной Корее. Располагают ими также Боливия, Португалия, Перу, Бирма 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 Южной Корее и Канаде, США, Австралии, Боливии, Бразилии, Австрии, Португалии.

Общие запасы молибдена (без СССР) 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 около 14 дол, а 1 кг молибдена в концентрате — 6,8 дол.

По масштабам запасов принято следующее деление месторождений. Весьма крупные месторождения имеют запасы соответственно WO_3 и Mo (в 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.

СССР обладает значительными запасами вольфрамовых и молибденовых руд. Крупные месторождения монометалльных и комплексных руд известны в Центральном Казахстане, Узбекистане, Забайкалье, на Дальнем Востоке, в Красноярском крае, Северном Кавказе и Закавказье.

Геохимия и минералогия. Кларк вольфрама 0,003 %, молибдена 0,0011 %, коэффициент концентрации обоих металлов 5000, повышенные содержания их характерны для кислых магматических пород. Вольфрам содержится в 14 минералах, из которых к промышленным относятся вольфрамит $(Fe, Mn)WO_4$ (76,5 % WO_3), ферберит $FeWO_4$ (76,3 %), гюбнерит $MnWO_4$ (76,6 %) и шеелит $CaWO_4$ (80,6 %). Молибден образует 9 минералов. Главным является молибденит MoS_2 (60 % Mo), второстепенную роль играет молибдошеелит $Ca(Mo, W)O_4$ (0,5—15 %).

Типы руд и кондиции. Вольфрам получают из скарновых шеелитовых, кварц-шеелитовых и вольфрамитовых руд. Минимальное промышленное содержание WO_3 в рудах варьирует от 0,3 до 1—2 % (в среднем 0,7 %), в комплексных рудах может быть ниже. Для россыпей минимальное промышленное содержание вольфрамита 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.

Типы промышленных месторождений

Эндогенные месторождения вольфрама и молибдена по генезису делятся на скарновые и гидротермальные плутогенные высоко- и среднетемпературные. Россыпные месторождения вольфрама в СССР не относятся к основным его источникам.

В несоциалистических странах ведущую роль в добыче и запасах вольфрама играют скарновые (около 60 % запасов и более 55 % добычи) и гидротермальные (около 40 % и запасов, и добычи) месторождения. 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 % до-

бычи), 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, иногда топазом 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 СССР к месторождениям данного типа относятся Джида, Белуха, Букука, Шахтама, Давенда, Бом-Горхон, Жирекен в Забайкалье, Шалгия и Верхнее Кайракты в Казахстане. За рубежом подобные месторождения имеются в Португалии, Норвегии (Кнабен), КНР (Ляндушань, Шанпин), МНР (Тумен-Цокто), Бирме, Австралии, США (Квеста), Канаде (Ред-Роуз, Босс-Маунтин).

Месторождение Шахтама сложено юрскими гранитами, гранодиоритами и эруптивными брекчиями, которые секутся дайками лампрофиров, диорит-порфиров, гранит-порфиров и гранодиорит-порфиров (рис. 39). Кварц-молибденитовые жилы, прослеженные до глубины 300 м, имеют обычно субширотное простираие; между жилами находятся штокверки бедных руд. Внутреннее строение жил сложное, обусловленное многократными тектоническими нарушениями. В состав руд входят молибденит и кварц. К второстепенным минералам относятся пирит, арсенопирит, халькопирит, сфалерит, галенит, шеелит, доломит, кальцит, флюорит.

Месторождения массива Изянси (КНР) считаются крупнейшими в мире. Площадь развития вольфрамового оруденения превышает 2000 км². Вольфрамовые и олово-вольфрамовые месторождения залегают в гранитах и ороговикованных осадочных породах. Жилы имеют мощность до 3—4 м при протяженности до 1—1,5 км. Количество жил — десятки — сотни. Руды сложены кварцем, вольфрамитом, а также шеелитом, касситеритом, танталитом-колумбитом, полевым шпатом, мусковитом, бериллом и др. Жилы оторочены зонами грейзенизированных пород. Содержание WO_3 — 3—4 %.

Гидротермальные плутогенные среднетемпературные месторождения молибденовых и медно-молибденовых руд (порфировые) связаны с крупными интрузивами умеренно кислых гранитоидов, а также со штоками и дайками гранит-порфиров.

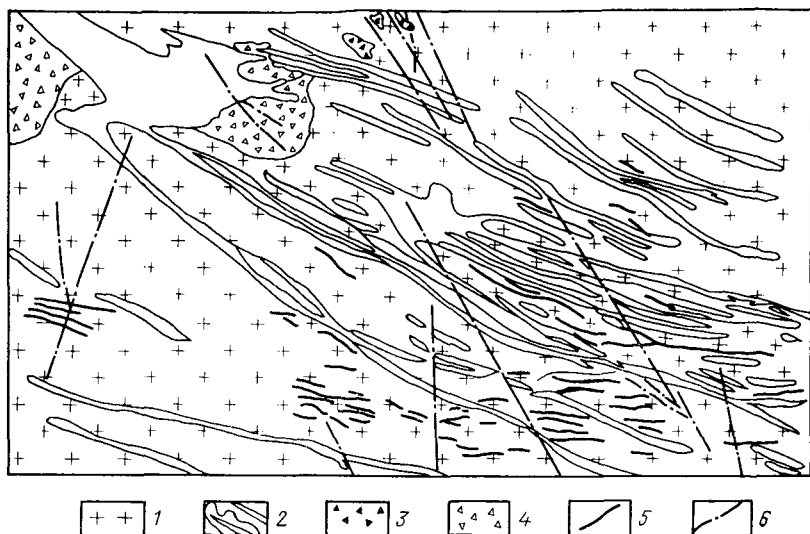


Рис. 39. Схема геологического строения месторождения Шахмата (по материалам Шахтаминской ГРП):

1 — граниты и граносениты; 2 — позднеюрские дайки лампрофиров, диорит-порфиров, гранодиорит-порфиров; 3—4 — брекчии: 3 — эруптивные, 4 — биотитизированные гранитов; 5 — кварцевые рудные жилы; 6 — разломы

Размещение оруденения контролируется региональными разломами и системами сопряженной 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 молибдена и меди в рудах отмечаются рений, селен, теллур, висмут, золото и серебро. Содержание молибдена варьирует от 0,005 до 0,07 %, меди — от 0,5 до 2 %. Запасы месторождений достигают 300 тыс. т.

В СССР к этому типу принадлежат месторождения Коунрад, Бошекуль (Казахстан), Кальмакыр (Средняя Азия), Каджаран, Агарак (Закавказье), Сорское (Западная Сибирь). За рубежом крупными месторождениями являются Медет (НРБ), Майданпек (СФРЮ), Эрденет (Монголия), Кляймакс, Бингем (США), Вэлли-Коппер (Канада), Токепала (Перу), Чукикамата (Чили).

Месторождение Каджаран приурочено к крупному антиклинорию, осложненному тектоническими разломами. Вулканогенно-осадочные породы палеозоя, верхнего мела и палеогена прорваны здесь интрузиями габбро, монцонитов, биотитовых гранитов и гранодиоритов.

Сложный по морфологии рудный штокверк локализуется в окраинной части монцонитового массива. Монцониты интенсивно изменены. Медно-молибденовые руды тяготеют к участкам развития измененных пород. Выделяются вкрапленный, прожилковый и жильный типы оруденения. Мощность жил от 10 см до 8—9 м (в раздувах). В состав руд входят пирит, халькопирит, молибденит, а также борнит, сфалерит, галенит, кварц и карбонаты.

Скарновые месторождения генетически и пространственно связаны с умеренно кислыми гранитоидами (гранитами, плагиогранитами, кварцевыми диоритами), 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 пироксены, гранаты, везувиан, 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 тысяч тонн, WO_3 — десятки тысяч тонн.

К рассматриваемому типу в СССР относятся месторождения Тырнауз, Ингичке, Чорух-Дайрон, Майхура. Наиболее крупными из зарубежных месторождений являются Санг-Донг (Южная Корея), Азгур (Марокко), Пайн-Крик (США).

Месторождение Тырнауз на Северном Кавказе расположено на высоте 2500—3000 м и приурочено к участку сочленения двух крупных глубинных разломов. Разрывные нарушения усложнили складчатую структуру месторождения, разбив его на отдельные блоки. На площади месторождения развиты известняки, песчано-сланцевые отложения и туффиты, которые прорваны гранитоидами и под их воздействием преобразованы в мраморы и роговики.

На месторождении установлены скарны по мраморам и роговикам. 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 крутонаклоненную протяженную седловидную залежь мощностью в сводовой части до 100 м, а на флангах до 2 м (см. рис. 18). Скарны состоят из гранатов и пироксенов и содержат

шеелит, молибдошеелит и молибденит. Гуды монометалльные (молибденовые) и комплексные (вольфрам-молибденовые).

На *месторождении Санг-Донг* вмещающими породами являются кембрийские кварциты, известняки, песчаники и филлиты. Источником оруденения считается шток гранит-порфиров мелового возраста. Рудные тела имеют форму пластообразных залежей, локализованных в известняках. Главные минералы руд — шеелит, молибденит, пирротин, роговая обманка, диопсид и кварц, второстепенные — вольфрамит, пирит, халькопирит, эпидот, флюорит, кальцит и др. Рудные тела образованы минеральными ассоциациями сложного состава. От контактной части к центральной содержание WO_3 возрастает от 0,2 до 2 %.

Россыпные месторождения вольфрама дают не более 2 % его добычи. Промышленное значение имеют элювиальные и аллювиальные вольфрамитовые (иногда с шеелитом) россыпи, которые тесно связаны с коренными месторождениями и часто обрабатываются совместно с ними. Длина россыпей достигает 5—8 км при ширине до 100—200 м и мощности рудного пласта до 1—2 м. В комплексных россыпях содержание вольфрама 0,3—20 кг/м³. Россыпные месторождения вольфрама в СССР известны в Магаданской области (Иультин, Пыркакай), Якутии (Омчикандин, Депутатское), Забайкалье (Шерловогорское), Казахстане (Кара-Оба, Богушинское), а за рубежом — в КНР (Нюшипо), Индонезии (Банка), Малайзии, Таиланде, Бирме (Бвабин, Хейда), Австралии, Конго, США (Атолия), Бразилии.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите области применения вольфрама и молибдена.
2. В каких странах сосредоточены основные запасы и добыча этих металлов?
3. Назовите основные черты геохимии и минералогии вольфрама и молибдена, промышленные типы руд и показатели кондиций.
4. Какие типы месторождений играют ведущую роль в добыче и запасах вольфрама и молибдена?
5. Дайте характеристику морфологии, условий залегания и вещественного состава гидротермальных месторождений вольфрама и молибдена. Приведите примеры.
6. Расскажите об особенностях геологического строения и вещественного состава скарновых вольфрам-молибденовых месторождений. Приведите примеры.

АЛЮМИНИЙ

Общие сведения

Применение. Алюминий благодаря низкой плотности, высокой электропроводности, большой коррозионной устойчивости и механической прочности широко применяется в авиации, авто-

мобиле- 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.

Запасы и добыча. Общие запасы бокситов — главного алюминиевого сырья — в капиталистических и развивающихся странах оцениваются в 57,0 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, 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 СССР) колеблется в пределах 23—27 млн. т, алюминия — 10—12 млн. т в год. Цены на алюминий в 1981—1985 гг. варьировали от 1000 до 1700 дол/т, минимальная цена на бокситы в 1985 г. составила 28,5 дол за 1 т.

СССР имеет мощную сырьевую базу для производства алюминия. Основные месторождения бокситов расположены в Ленинградской области, на Северном и Южном Урале, в Западной и Восточной Сибири, Казахстане. Месторождения нефелиновых руд имеются на Кольском полуострове, 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).

Геохимия и минералогия. Кларк алюминия 8,05 %. Коэффициент его концентрации низкий, равен 5, а повышенные содержания характерны для щелочных пород и анортозитов. Этот элемент накапливается в процессе алунитизации пород, а особенно интенсивно при образовании остаточных и переотложенных кор выветривания на кислых, щелочных и основных породах.

Алюминий входит в состав 250 минералов. Промышленное значение из них имеют следующие: бёмит и диаспор $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (85 % Al_2O_3), гиббсит (гидрагиллит) $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (65,4 %), нефелин $\text{KNa}_3[\text{AlSiO}_4]_4$ (34 %) и алунит $\text{KAl}_3[\text{SO}_4]_2(\text{OH})_6$ (37 %). 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 бёмитовые, диаспоровые, гиббситовые и комплексные. По текстуре они делятся на каменные, рыхлые, оолитовые, бобовые, брекчиевидные, яшмовидные. Минимальное промышленное содержание глинозема в бокситах 25 %, отношение $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ (крем-

невый 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 весьма энергоемок.

Типы промышленных месторождений

Среди месторождений алюминия выделяют следующие типы: магматические, гидротермальные, метаморфогенные, выветривания и осадочные. Для СССР наибольшее значение имеют осадочные месторождения бокситов, а для зарубежных стран — остаточные месторождения выветривания. Перспективными считаются также магматические месторождения нефелиновых руд и метаморфогенные месторождения высокоглиноземистого сырья.

Магматические месторождения нефелиновых руд пространственно и генетически связаны с массивами щелочных и ультраосновных — щелочных пород. Нефелиновые руды обособляются в интрузиях в результате процессов магматической или кристаллизационной дифференциации расплава и слагают крупные тела шпиро-, штоко- или пластообразной формы. Для руд типична массивная текстура, по составу они комплексные. Нефелины в них ассоциируют с апатитом, минералами титана и редких элементов. Содержание Al_2O_3 25—30 %. Запасы руд на месторождениях — сотни миллионов — миллиарды тонн. Наиболее крупными являются Хибинские месторождения на Кольском полуострове (рассматриваются при характеристике фосфатных месторождений), Горячегорское, и Кия-Шалтырское в Восточной Сибири.

Гидротермальные вулканогенные низкотемпературные месторождения алунитовых руд имеют ограниченное распространение и небольшое промышленное значение. Они сформировались в результате воздействия сернистых газов и термальных вод на кислые эффузивные и туфогенные породы. Руды локализованы в пластообразных залежах, гнездах и жилах. Текстуры их массивные тонкозернистые и крупнокристаллические, полосчатые. Содержание Al_2O_3 — 19—37 %, запасы руд — сотни тысяч — миллионы тонн. В СССР разрабатывается Загликское месторождение в Азербайджане. Имеются месторождения в За-

карпатье (Береговое), Казахстане и Средней Азии. За рубежом известны подобные месторождения в Китае и США.

Метаморфические месторождения высокоглиноземистых силикатов представлены крупными пластовыми залежами дистеновых и силлиманитовых гнейсов или кристаллических сланцев в докембрийских толщах метаморфизованных глиноземистых осадочных пород. Примеры месторождений: Кейвское на Кольском полуострове, Кяхтинское в Бурятской АССР, Китойское в Иркутской области, Чайнытское в Якутии; выявлены месторождения в Казахстане и Красноярском крае. Дистеновые месторождения разрабатываются в Индии и США.

Остаточные месторождения выветривания сложены латеритными бокситами и включают большую часть мировых запасов алюминиевого сырья. Они возникли за счет химического выветривания алюмосиликатных изверженных и метаморфических пород в условиях тропического климата и слабовсхолмленного рельефа. Наиболее качественные бокситы образуются за счет бескварцевых пород основного и щелочного состава. По морфологии выделяют месторождения линейного, линзо- и плащеобразного типов.

К линейному типу относятся месторождения с линейно вытянутыми рудными телами длиной от первых километров до нескольких десятков километров и шириной несколько сотен метров. Месторождения второго типа включают десятки линзовидных залежей длиной 0,5—3 км и шириной 50—200 м. Наиболее крупными являются месторождения плащеобразного типа, мощность рудных тел которых составляет 1—15 м, а протяженность — в десятки — сотни километров. Текстуры руд землистые и колломорфные. Содержание глинозема 45—60 %. Наличие полезных примесей определяется составом первичных пород. Масштабы запасов — сотни миллионов тонн бокситов. К латеритным относятся месторождения Боке в Гвинее, а также месторождения Ганы, Камеруна, Сьерра-Леоне, Мали, Австралии, Индии, США. В СССР имеются сравнительно небольшие погребенные латеритные месторождения бокситов в древних корях выветривания (Висловское, КМА; Высокопольское, Украина).

Месторождение Боке, расположенное в северо-западной части Гвиней, представлено бокситоносной зоной протяженностью 130 км шириной 30—60 км, в которой продуктивные залежи приурочены к возвышенностям — бовалям. На месторождении установлено около 100 бокситовых бовалей. Мощность залежей 10—15 м. Коренными породами являются в основном граптолитовые глинистые сланцы, песчаники и глинистые сланцы. По условиям залегания и структурно-текстурным особенностям выделяют элювиальные и делювиальные бокситы. Первые сохраняют строение материнских пород. Это плотные каменные

руды с массивной, полосчатой и сланцевой структурой. Делювиальные бокситы сложены сцементированными угловатыми обломками элювиальных бокситов.

Бокситы месторождения имеют светло-розовый, бурый и красновато-коричневый цвет, отличаются высоким качеством. Содержание (в %) глинозема 51—62; кремнезема 1—2; оксидов железа 2—6; оксида титана 2,5—3. В состав руд кроме главного минерала — гиббсита — входят бёмит, гематит, каолинит, минералы титана. Месторождение Боке является крупнейшим в мире. При бортовом содержании Al_2O_3 50 % общие запасы руд оцениваются примерно в 3 млрд. т.

Висловское месторождение размещается в южной части Яковлевского железорудного месторождения (КМА) и приурочено к древней коре выветривания докембрийских филлитовых и амфиболовых сланцев. Мощность коры выветривания от 5 до 170 м при глубине ее залегания 450—600 м. Бокситы высококачественные по составу бёмитовые и бёмит-гиббситовые; текстуры руд — полосчатая и сланцевая.

Бокситоносная провинция Южной Америки включает месторождения Гайаны, Суринама и Гвианы, протягивается вдоль берега океана на 600 км при ширине 100—150 км. Латеритные бокситы залегают на плоских вершинах и склонах пологих холмов древнего фундамента. Мощность залежей до 10—12 м. Бокситы содержат (в %) глинозема 58—66; кремнезема и оксидов железа до 2,5. Общие запасы бокситов провинции 800 млн. т.

Осадочные месторождения бокситовых руд разделяются на платформенные и геосинклинальные. Первые располагаются на окраинах синеклиз и в небольших котловинах. Вмещающими породами являются терригенные отложения: пески, глины, железистые и углистые осадки. Месторождения залегают вблизи поверхности и часто интенсивно денудированы. По морфологии и условиям формирования выделяют следующие типы залежей: долинные, вытянутые в одном направлении пластообразные; котловинные линзовидно-изометрические; карстовые гнездо- и столбообразные. Размеры залежей самые различные: от десятков — сотен метров до 5—8 км в длину при ширине 1—2 км. Залегание часто пологое. Бокситы рыхлые и глиноподобные.

К платформенным относятся Тихвинское (Ленинградская область), Северо-Онежское (Архангельская область), Тиманские (Коми АССР), Притобольское, Амангельдинское (Казахстан), Чулымское, Тагарское, Чадобецкое (Красноярский край) месторождения. За рубежом подобные месторождения имеются в США (шт. Арканзас), Гайане, Суринаме, Гвиане, Индии, Австралии.

Тихвинская группа бокситовых месторождений приурочена к каменноугольным отложениям северо-западного крыла Московской синеклизы. Бокситоносная зона протягивается на

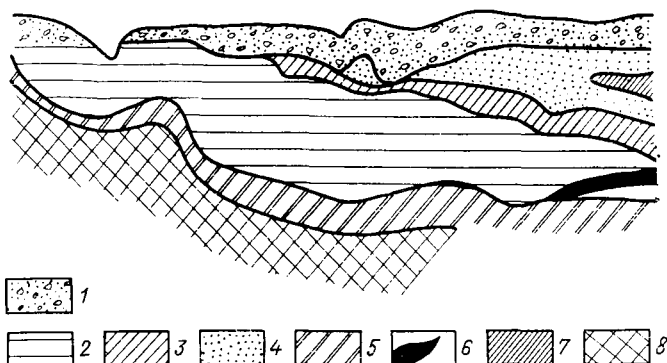


Рис. 40. Продольный геологический разрез участка Тихвинского месторождения бокситов (по И. Г. Магакьяну):

1 — ледниковые отложения; 2 — боксит; 3 — глины карбона; 4 — пески; 5 — пестрые глины девона; 6 — уголь; 7 — песчаник; 8 — прочие девонские породы

260 км и включает более 30 месторождений. Бокситовые залежи по форме подчиняются дорудному рельефу, находятся на глубине около 40 м (до 100—150 м) и перекрывают песчано-глинистые отложения девона и карбона. Мощность залежей от 2 до 12 м (рис. 40). Бокситы имеют красновато-коричневую окраску и по строению разделяются на обломочные, оолитово-бобовые и тонкодисперсные. В центральных частях залежей развиты кондиционные бокситы, которые к периферии переходят в бокситоносные породы. По составу бокситы гиббсит-бёмиткаолинитовые. Содержание (в %) глинозема варьирует от 45 до 55, кремнезема 11—18, оксидов железа 10—19 (до 30); кремневый модуль изменяется от 2,8 до 4,1.

Осадочные геосинклинальные месторождения бокситов тяготеют к срединным и окраинным частям геосинклинальных прогибов, в зоне примыкания их к платформам. Бокситоносный горизонт располагается в основании карбонатной толщи на крайне неровной и закарстованной поверхности более древних известняков. Гудные тела представлены пластовыми залежами с весьма неровной изрезанной нижней границей, образовавшейся в результате заполнения бокситом первичных неровностей и карстовых углублений в подстилающей толще известняков. Кровля залежей ровная. Мощность их изменяется от 0 до 30 м (в среднем 4—5 м).

Протяженность бокситовых горизонтов по простиранию — десятки и сотни километров. Длина бокситовых пластов измеряется несколькими километрами, ширина достигает сотен метров. В нижних частях залежей наблюдаются красные железистые рыхлые бокситы, их перекрывают яшмовидные бурые,

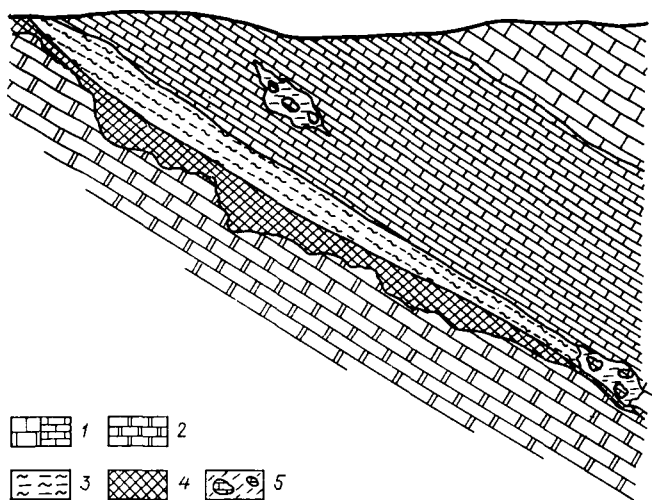


Рис. 41. Геологический разрез участка Кальинского месторождения СУБРа (по Н. А. Быховеру):

1—2 — известняки: 1 — кровли, 2 — почвы залежи; 3 — глинистые сланцы кровли залежи; 4 — бокситы; 5 — закарстованные участки

а в верхней части находятся плотные зеленые или серые. Бокситовые пласты и вмещающие породы интенсивно дислоцированы и метаморфизованы. Содержание глинозема колеблется от 40 до 70 %. Масштаб запасов месторождений десятки — сотни миллионов тонн бокситов.

Месторождения геосинклинального типа развиты в Северо-Уральском, Южно-Уральском, Салаирском и Боксонском бокситоносных районах СССР. Широко распространены они в ВНР, Греции, Франции, СФРЮ, Ямайке, Гаити, Доминиканской республике.

Северо-Уральский бокситоносный район (СУБР) включает месторождения Красная Шапочка, Кальинское, Черемуховское и Сосьвинское, которые приурочены к бокситоносному горизонту протяженностью до 30 км. Бокситы залегают на закарстованной поверхности известняков (рис. 41). Падающая под углом 35—45° пластообразная залежь имеет мощность от долей метра до 30 м (в среднем 4,5 м). В нижнем горизонте развиты красные бокситы с высоким содержанием глинозема (50—65 %) и низким кремнезема (0,5—5 %). Верхний горизонт представлен пестроцветными бокситами (10 % объема залежи); им присуще невысокое качество из-за повышенного содержания кремнезема. Высококачественные красные бокситы составляют 85—97 % запасов месторождения.

Месторождения ВНР расположены в Задунайском Среднегорье. На площади около 3500 км² выявлено свыше четырехсот залежей бокситов, которые локализуются в юрских или триасовых известняках и доломитах и перекрыты глинами, песчаниками и известняками мела и палеогена. Залежи имеют линзовидную и пластовую форму и мощность от 1 до 30 м. Бокситы по составу бёмитовые и гиббситовые. Структуры их тонкодисперсные, оолитовые и обломочные, текстуры слоистые. Промышленные руды содержат (в %) глинозема 50—60; кремнезема 1—8; оксидов железа 15—20.

Бокситовые месторождения о. Ямайки залегают на палеогеновых известняках, карстовый рельеф которых определяет форму рудных тел. В настоящее время обнаружено свыше 100 приповерхностных промышленных залежей мощностью в среднем 3—10 м. По составу бокситы бёмит-гиббситовые с каолинитом, оксидами и гидроксидами железа. Цвет их красный или бурый, текстуры плотные и землистые. Бокситы содержат (в %): глинозема 45—50; кремнезема 0,5—3,5; оксидов железа 16—23. Общие запасы их составляют около 1 млрд. т.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите свойства и области применения алюминия.
2. Приведите данные о запасах и добыче алюминиевого сырья в капиталистических и развивающихся странах.
3. Какие минералы и типы руд имеют промышленное значение для алюминия?
4. Дайте характеристику геологического строения и вещественного состава магматических месторождений нефелиновых руд. Приведите примеры.
5. Какие особенности морфологии, условий залегания и вещественного состава характерны для бокситовых месторождений выветривания? Приведите примеры.
6. Расскажите об особенностях вещественного состава и геологического строения платформенных и геосинклинальных осадочных месторождений бокситовых руд. Приведите примеры.

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.

Запасы и добыча. Общие мировые (без СССР) 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), Заир и Перу (26 млн. т). Добыча меди осуществляется в 37 капиталистических и развивающихся странах 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, Заир, Австралия, Перу, Филиппины. Цены на медь на мировом рынке имеют тенденцию к снижению и достигли к 1986 г. уровня 1400 дол. за 1 т.

СССР и социалистические страны (ПНР, НРБ, ГДР, СРР, Куба) обеспечены разведанными запасами меди. Основные запасы меди в нашей стране сосредоточены на месторождениях Урала, Казахстана, Средней Азии, Закавказья и Восточной Сибири.

К весьма крупным относятся месторождения с запасами меди свыше 5 млн. т, к крупным — от 1 до 5 млн. т, к средним — от 100 тыс. т до 1 млн. т, к мелким — менее 100 тыс. т.

Геохимия и минералогия. Кларк меди 0,01 %, коэффициент концентрации — 200. Повышенные содержания ее характерны 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 Cu_5FeS_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 $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ (57,4 %), азурит $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ (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 — до 0,5 %, а для крупных комплексных месторождений — до 0,3 %.

Типы промышленных месторождений

Среди промышленных месторождений меди по генетическому признаку выделяются магматические, гидротермальные, плутоногенные, скарновые, вулканогенно-осадочные, гидротер-

мально-осадочные (стратиформные). В СССР основными промышленными типами являются гидротермально-осадочные (34 % запасов, 29 % добычи), вулканогенно-осадочные медно-колчеданные (соответственно 17,5 и 23 %), гидротермальные медно-порфировые (16 и 22 %), магматогенные медно-никелевые (18 и 16 %). За рубежом главное значение имеют гидротермальные медно-порфировые (65 % запасов, 60 % добычи), гидротермально-осадочные (20 и 18 %) и вулканогенно-осадочные медноколчеданные (8 и 11 %).

Магматические ликвационные месторождения сульфидных медно-никелевых руд уже рассмотрены (см. раздел «Никель, кобальт»).

Гидротермальные плутогенные месторождения, связанные с гипабиссальными порфировыми интрузиями умеренно кислого состава, разделяют на медно-порфировые и кварц-сульфидные. Первые играют важную роль в мировых запасах и добыче меди.

Медно-порфировые месторождения представлены крупными скоплениями небогатых медных или медно-молибденовых руд штокверкового типа в порфировых интрузиях. Форма рудных тел часто контролируется системами трещин (удлиненными, концентрическими, кольцевыми). Штокверки имеют длину 2—3 км при ширине 0,7—1,5 км, либо изометрическую форму с поперечником до 1 км. Вертикальный размах оруденения 300—500 м и более. Руды сложены пиритом, халькопиритом, борнитом, молибденитом; основные нерудные минералы — кварц и карбонаты. Текстуры руд прожилково-вкрапленные, реже брекчиевые. Среднее содержание меди в первичных рудах 0,2—0,7 %, молибдена 0,005—0,07 %. В зоне вторичного обогащения концентрация меди увеличивается до 1,5—2 %. Из руд кроме меди и молибдена извлекаются рений, селен, теллур, висмут. Масштабы запасов — 100—300 тыс. т меди.

В СССР медно-порфировые месторождения находятся в Казахстане (Коунрад, Бошекуль), Средней Азии (Кальмакыр), Закавказье (Каджаран, Агарак), Западной Сибири (Сорское). За рубежом крупные месторождения известны в НРБ (Медет, Асарел), СФРЮ (Майданпек), Иране (Сары-Чешме), МНР (Эрденет), США (Кляймакс, Бингем), Канаде (Вэлли-Копер, Эндако), Перу (Токепала), Чили (Эль-Тениенте, Чукикамата).

Месторождение Кальмакыр, расположенное в Кураминском хребте Западного Тянь-Шаня, залегает среди вулканогенных и карбонатных пород среднего девона — верхнего карбона. Промышленное оруденение локализуется в измененных интрузивных породах гранодиорит-порфирах и сиенит-диоритах. Рудное тело представляет собой штокверк, распространяющийся на глубину в сотни метров. Текстуры руд прожилковые и вкрапленные. Развита зона окисления. Основные запасы месторож-

дения сосредоточены к зоне первичных руд. Рудные минералы — халькопирит, пирит, магнетит, молибденит (ренийсодержащий), а также галенит, сфалерит, антимонит. Месторождение разрабатывается открытым способом.

Месторождение Чукикамата в Чили приурочено к интрузиву монзонит-порфиров палеогенного возраста. Рудное тело имеет сложную форму штокверка протяженностью 3 км при ширине 0,8 км (см. рис. 14). Главные рудные минералы — пирит, энаргит, халькопирит, второстепенные — борнит, сфалерит, галенит и молибденит. Вмещающие породы серпентинизированы, окварцованы и хлоритизированы. Для штокверка характерно зональное строение: западная его часть сложена медно-молибденовыми рудами, центральная — медными, восточная — полиметаллическими. Хорошо проявлены зона окисления (1,3 % Cu) до глубины 200 м и зона вторичного сульфидного обогащения (1,5—2 %) до глубины 700 м. Ниже находятся первичные руды (1,3—1,9 % Cu). Запасы меди составляют 54,7 млн. т при содержании 1,25 %, молибдена 120 тыс. т при содержании 0,006 %. Месторождение разрабатывается открытым способом.

Скарновые месторождения размещаются на контактах гранитоидных интрузий, эффузивов кислого и среднего состава с известняками и карбонатно-терригенными породами. Для рудных тел типичны сравнительно небольшие размеры и сложная форма; это гнезда, линзы, трубо- и жилообразные залежи, штокверковые зоны, осложненные многочисленными тектоническими нарушениями. Текстуры руд вкрапленные и массивные. Рудные минералы представлены халькопиритом, пирротинном, пиритом, магнетитом; из нерудных присутствуют гранат, пироксен, эпидот, кальцит, кварц. Содержание меди в рудах обычно высокое (3—10 %), но крайне неравномерное. Масштабы запасов месторождений — до 300 тыс. т меди.

В сырьевой базе СССР и зарубежных стран скарновые месторождения не играют существенной роли. В СССР к ним относятся почти отработанные месторождения Урала (Турьинская группа), а также месторождения Казахстана (Саянская группа), Киргизии (Курутегереке), Западной Сибири (Хакасская группа). За рубежом подобные месторождения известны в США (Бисби, Клифтон), Мексике (Долорес), Японии (Ягука), Румынии (Банат).

Вулканогенно-осадочные медноколчеданные месторождения залегают среди вулканогенных пород — порфиров, андезитов, спилитов, кератофиров, туфов и туфобрекчий и нередко пространственно связаны с небольшими субвулканическими интрузиями кварцевых порфиров, альбитофиров, гранодиорит-порфиров, диабазов. Рудные тела — согласные пластовые залежи и линзы — в лежачем боку сопровождаются штоками, жилами и штокверками. Протяженность рудных тел первые километры

(до 5 км) при мощности десятки метров (иногда до 100 м). Глубина распространения руд до 2 км.

Руды сложены пиритом, халькопиритом, марказитом, сфалеритом, пирротином, борнитом; из нерудных минералов развиты — серицит, хлорит, кварц, барит, кальцит. Текстуры руд массивные, вкрапленные и прожилковые. Содержания (в %) меди 2—5, цинка 2—4, серы до 40. Попутно могут извлекаться свинец, серебро, золото, селен, теллур, кадмий, индий, таллий, галлий, германий. Масштабы запасов месторождений — от 0,1 до 1 млн. т меди.

В СССР медноколчеданные месторождения широко распространены на Урале (Дегтярское, Учалы, Гай, Сибай), Кавказе (Уруп, Филизчай, Алаверды, Шамлуг). За рубежом известны месторождения в Испании (Рио-Тинто), СФРЮ (Бор), Турции (Эргани), Швеции (Болиден), Канаде (Кидд-Крик), США (Юнайтед-Верде), Японии.

Гайское медноколчеданное месторождение на Южном Урале, вмещающими породами которого являются кислые и основные эффузивы, их туфы и туфобрекчии, пространственно приурочено к вулканическому куполу (рис. 42). Оруденение контролируется зоной тектонических нарушений. Установлено более 50 рудных тел — линз, жил, штокообразных и пластовых залежей, вытянутых в меридиальном направлении и падающих круто на восток. Вертикальный размах оруденения достигает 1500 м.

Руды состоят из пирита, халькопирита, сфалерита, блеклой руды, борнита, галенита, кварца, кальцита, барита, серицита и хлорита. По составу выделяют медные, медно-цинковые и серноколчеданные руды. Текстуры их массивные, прожилковые и вкрапленные. Глубина зоны окисления, сложенной гидроксидами железа и вторичными сульфидами, изменяется от 10 до 100 м.

Гидротермально-осадочные (стратиформные) месторождения меди залегают в терригенных толщах (песчаниках, сланцах), не имеют связи с магматическими образованиями и приурочены к депрессиям. Вмещающие породы характеризуются повышенным содержанием органического углерода. Рудные тела представлены согласными пластовыми, линзо- и лентовидными субгоризонтальными залежами мощностью от долей метра до десятков метров, прослеживающимися по простиранию на многие километры. К главным рудным минералам относятся халькозин, борнит, халькопирит и пирит; среди нерудных отмечаются кварц, кальцит и барит. Текстуры вкрапленные и слоистые. Содержание меди от 2—3 до 6 % и более, минерализация распределена равномерно. Кроме меди из руд могут извлекаться свинец, цинк, кобальт, серебро, рений. Масштабы запасов — более 1 млн. т меди.

Примерами месторождений в СССР являются Джез-

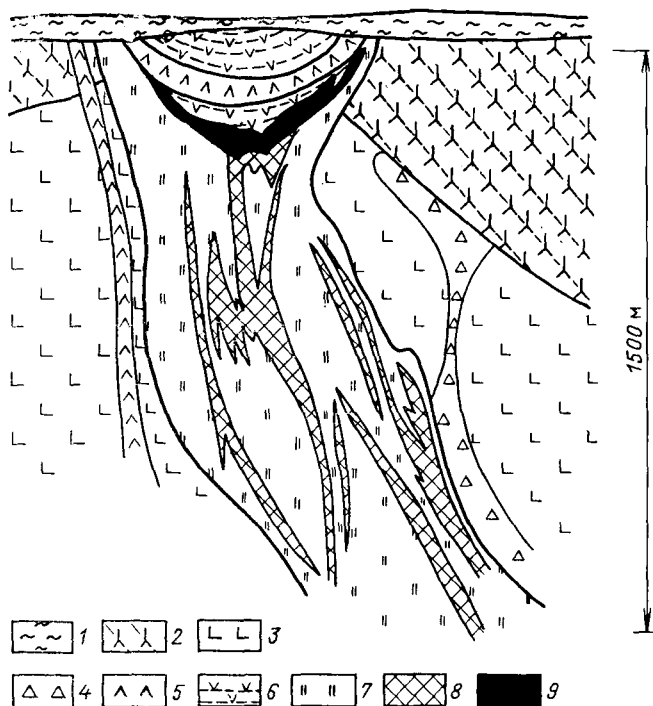


Рис. 42. Геологический разрез Гайского месторождения (по В. И. Смирнову):

1 — рыхлые песчано-глинистые отложения; 2 — лавы, туфы диабазовых порфиритов; 3 — туфы, туфоагломераты, туфобрекчии липарит-дацитов; 4 — взрывчатые (агломератные) брекчии; 5 — габбродиабазы; 6 — шлаковые туфы базальтов; 7 — измененные вулканокластические породы; 8—9 — руды: 8 — вкрапленные, 9 — богатые

казган (Казахстан), Удокан (Забайкалье), а за рубежом — Предсудетское (ПНР), Мансфельд (ГДР), Айнак (Афганистан), Роан-Антилоп, Чамбиши, Нчанга (Замбия), Камото, Мушоши (Заир); известны месторождения США, Мексики.

Месторождение Дзезказган сложено ритмично переслаивающимися серо- и красноцветными песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Рудные тела представлены пологими согласными залежами вкрапленных руд, имеющими пластовую и линзовидную форму (см. рис. 22). На месторождении выявлено до 100 рудных тел мощностью от 0,5 до 20 м, которые приурочены в основном к сероцветным песчаникам. Длина залежей достигает первых километров. В состав руд входят халькопирит, борнит, халькозин, галенит, сфалерит, кварц, кальцит, барит и вторичные сульфиды. Текстуры руд вкрапленные и прожилковые. Кроме меди в них содержатся свинец, лантан, рений и др.

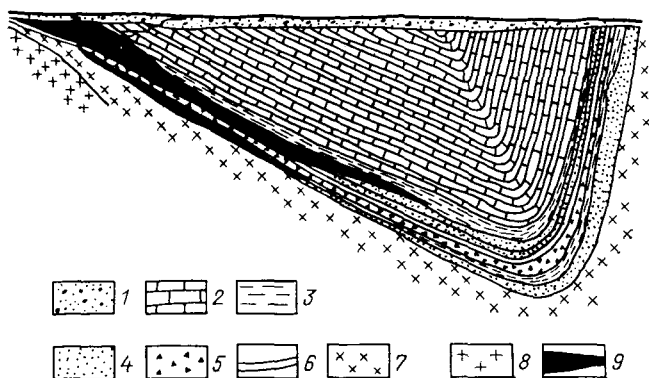


Рис. 43. Геологический разрез через синклиналь Нчанга (по Ф. Мендельсону):

1 — слой обломочного кварца и поверхностные отложения; 2 — аргиллиты и доломиты; 3 — полосчатые сланцы; 4 — полевошпатовые кварциты; 5 — полосчатые песчаники; 6 — кварциты и кремнистые сланцы; 7 — аркозы; 8 — граниты; 9 — рудные тела

Месторождение Нчанга в Замбии входит в Медный пояс Центральной Африки. Конгломераты, кварциты, песчаники и известковистые сланцы верхнего протерозоя несогласно перекрывают граниты фундамента, образуя крупную синклиналь (рис. 43). Залежи имеют пластовую форму. Общая мощность рудоносной зоны, согласно залегающей с вмещающими породами, достигает 100 м. Руды сложены халькопиритом, борнитом и халькозином; присутствуют пирит и миллерит. Отчетливо проявлены зоны окисления и вторичного сульфидного обогащения, распространяющиеся на глубину в несколько сотен метров. Установлено наличие зональности оруденения по мощности и в горизонтальном направлении (сверху вниз и от периферии к центру пиритовые руды сменяются халькопиритовыми, а затем борнитовыми). Запасы меди на месторождении оцениваются в 9 млн. т при среднем содержании 3,15 %.

Предсудетское месторождение (ПНР) приурочено к красноцветным и светло-серым песчаникам и битуминозным сланцам, доломитам и известнякам пермского возраста. Оруденелыми являются светло-серые песчаники, черные сланцы и доломиты. Рудоносная зона развита по простиранию на 40 км, по падению на 10 км. Мощность рудных тел от нескольких метров до 15 м. В их состав входят халькозин, халькопирит, борнит, а также пирит, ковеллин, сфалерит, галенит. Помимо меди руды содержат свинец, цинк, серебро, кобальт, никель, молибден, ванадий, олово, рений. Текстуры руд слоистые, вкрапленные, прожилковые. Оруденение характеризуется вертикальной и горизонтальной (по падению) зональностью.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие свойства меди определяют ее широкое использование в промышленности?
2. Как распределены по странам мировые запасы и добыча меди?
3. Назовите основные особенности геохимии и минералогии меди. Какие показатели кондиций установлены для различных типов медных руд?
4. Какие типы месторождений имеют промышленное значение?
5. Охарактеризуйте особенности геологического строения и вещественного состава медно-порфировых месторождений. Приведите примеры.
6. Какие особенности морфологии, условий залегания и вещественного состава присущи медноколчеданным месторождениям? Приведите примеры.
7. Дайте характеристику геологического строения и вещественного состава стратиформных месторождений меди.

ОЛОВО

Общие сведения

Применение. Олово широко применяется благодаря легкоплавкости, мягкости, ковкости, химической устойчивости и способности давать высококачественные сплавы. Оно используется для изготовления белой жести и фольги (до 50 % производства), припоя, бронзы, для лужения, а также для получения баббита (для подшипников трения), типографских сплавов, эмалей.

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). Развитые капиталистические страны, кроме Великобритании и Австралии, значительных месторождений олова не имеют. Производство олова в концентрате (в 1985 г. — 145 тыс. т) приходится в основном на Малайзию (37 тыс. т), Бразилию (26,5 тыс. т), Индонезию (22 тыс. т) и Таиланд (17 тыс. т). Цена 1 кг олова за последние 5 лет снизилась с 14 до 12 дол. СССР имеет прочную минерально-сырьевую базу олова. Крупные месторождения располагаются в Магаданской области, Якутской АССР, Забайкалье, Приморье, Киргизии. По запасам металла (в тыс. т) месторождения олова делятся на весьма крупные (>100), крупные (25—100), средние (5—25), мелкие (<5).

Геохимия и минералогия. Кларк олова 0,0025 %. Коэффициент его концентрации 2000. Известно около 20 минералов олова, из которых промышленное значение имеют только касситерит SnO_2 (78,62 %) и станнин $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ (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.

Типы промышленных месторождений

Среди промышленных месторождений по генезису выделяются пегматитовые (4,2 % мировых запасов, 3,4 % добычи), гидротермальные плутогенные (14,6 и 16,2 %), гидротермальные вулканогенные (11,3 и 9,3 %), грейзеновые (6,4 и 3,8 %), скарновые (1,1 и 1,2 %), осадочные россыпные (62,4 и 66,1 %). Для СССР важное значение имеют также гидротермальные вулканогенные месторождения.

Пегматитовые месторождения формируются в эндо- и экзо-контактных зонах кислых и ультракислых интрузивов. Руды представлены шлировыми и трубчатыми телами, пластовыми жилами с непостоянной мощностью и неравномерным пространственным распределением минералов. Сложены они касситеритом, танталитом-колумбитом, цирконом, сподуменом, кварцем, полевыми шпатами, слюдами. Текстуры вкрапленные. Содержание олова 0,1—0,25 %. Руды по составу комплексные и кроме олова могут содержать ниобий, тантал, литий, бериллий, цинк. Масштабы запасов месторождения — до 100 тыс. т олова. Для СССР месторождения данного типа не играют существенной роли. За рубежом оловоносные пегматиты широко развиты и разрабатываются в Заире (Манано-Китотоло), Зимбабве, США (Сильвер-Хилл), Канаде (Берд-Ривер).

Месторождение Манано-Китотоло в Заире представлено двумя телами (восточное — Манано, западное — Китотоло), каждое из которых имеет протяженность около 5 км и ширину 400 м. Пегматиты характеризуются зональным строением: от периферии к центру кварцевая зона с мусковитом сменяется альбит-аплитовой и затем натриево-литиевой. Руды состоят из касситерита, колумбит-танталита, сподумена; присутствуют также апатит, циркон, флюорит, турмалин, рутил, арсенопирит, пирит. Касситерит распределен неравномерно и концентрируется преимущественно в кварц-мусковитовой зоне. Содержание олова в коренных рудах 0,2 %; из руд извлекаются также тантал, ниобий, титан.

Гидротермальные плутогенные и ассоциирующие с ними грейзеновые месторождения связаны с малыми интрузиями гранитоидов, расположены в их пределах и в песчано-сланцевых породах экзоконтакта. Рудные тела представлены жилами в крутых трещинах скола, жилообразными залежами и штокверковыми зонами на участках дробления и пересечения систем трещин. Размеры рудных жил — десятки — сотни метров по простиранию, 300—500 м по падению при мощности от 0,1 — до

2—3 м. Жильные поля прослеживаются на несколько километров по простиранию и до 1 км по падению. Главными рудными минералами являются касситерит и пирротин, второстепенными — галенит, сфалерит, станнин, арсенопирит, халькопирит, жильными — кварц, турмалин, хлорит. Текстуры руд полосчатые, вкрапленные, прожилковые, редко массивные. Содержание олова колеблется от 0,2 до 4 %. В рудах отмечаются также вольфрам, свинец, цинк, медь, серебро. Масштабы запасов месторождений тысячи — десятки тысяч тонн, реже до 100 тыс. т олова.

Среди гидротермальных плутогенных месторождений выделяют два типа:

1) касситерит-кварцевый — месторождения Онон, Ималка (Забайкалье), Иультинское (Чукотка), Корнуолл (Великобритания), а также месторождения Португалии, КНР, Нигерии;

2) касситерит-силикатно-сульфидный — месторождения Хачеранга (Забайкалье), Эге-Хая, Депутатское (Якутия), Хрустальное (Приморье), Валькумей (Чукотка), Крофти (Великобритания), Маунт-Плезант (Канада). Рениссон-Белл (Австралия), Менсон-Лод (Малайзия).

Иультинское месторождение сложено песчаниками, алевролитами и глинистыми сланцами перми и триаса, образующими крупную антиклиналь. Осадочная толща прорвана штоком гранитов, дайками гранит-аплитов и кварцевых порфиров. Расположенные кулисообразно кварцевые жилы (95 % кварца) с касситеритом, вольфрамитом, арсенопиритом имеют сложную форму, протяженность до 200 м при мощности 0,3—5 м.

Хрустальное месторождение расположено в западном крыле крупной синклинали, в пределах которой развиты алевролиты и песчаники триаса и юры (рис. 44). Рудные жилы приурочены к тектонической зоне, контролирующей распределение даек диабазовых порфиров. Протяженность жил до 1—3 км, падение крутое. Руды кварц-касситеритовые и сульфидно-касситеритовые. Главные минералы — кварц, касситерит, пирротин; часто отмечаются пирит, арсенопирит, сфалерит, галенит, флюорит. Зональность оруденения выражается в смене от центра к флангам жил высокотемпературных минеральных ассоциаций низкотемпературными. Текстуры руд полосчатые, брекчиевые, массивные, вкрапленные, колломорфные.

Депутатское месторождение, вмещающими породами которого являются ороговикованные песчано-сланцевые породы юрского возраста, размещается в надынтрузивной зоне гранитоидного массива. Рудные тела — жилы длиной десятки — сотни метров и мощностью 0,1—1 м, штокверки мощностью в десятки метров, оруденелые зоны дробления мощностью до 10 м и протяженностью в несколько сотен метров — имеют субширотное простирание, крутое падение. Руды сложены касситеритом, пир-

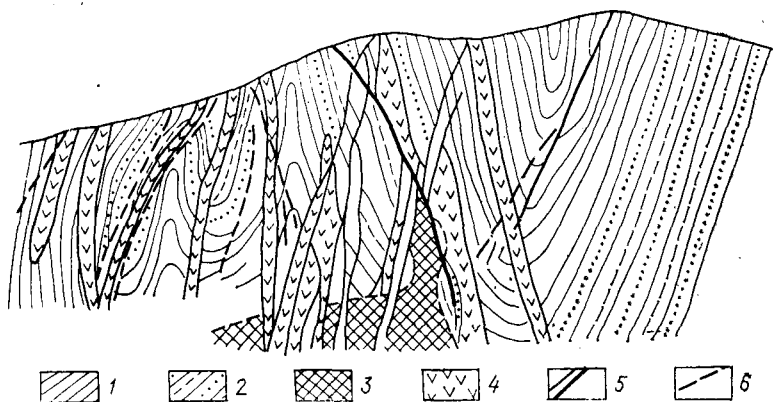


Рис. 44. Геологический разрез Хрустального месторождения (по Ф. И. Вольфсону и А. В. Дружинину):

1 — алевролиты; 2 — переслаивание песчаников и алевролитов; 3 — биотитизированные породы; 4 — дайки; 5—6 — рудные жилы: 5 — касситерит-сульфидные, 6 — сульфидные

ротинном, кварцем, турмалином, хлоритом; присутствуют вольфрамит и сфалерит. 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.

Гидротермальные вулканогенные месторождения связаны с умеренно кислыми и средними эффузивами и субвулканическими интрузиями. Они залегают среди вулканогенно-осадочных пород в зонах разломов и интенсивной трещиноватости. Рудные тела представлены ветвящимися жилами, реже оруденелыми зонами и штокверками. Жилы, мощность которых изменяется от 0,1 до 3 м, прослеживаются по простиранию и падению на десятки и сотни метров. Мощность продуктивного горизонта не превышает 200—300 м. Характерно наличие рудных столбов.

В состав руд входят касситерит, станнин, арсенопирит, пирротин, кварц, турмалин, серицит; в качестве второстепенных отмечаются сульфиды, карбонаты, флюорит, опал. Текстуры руд полосчатые, брекчиевидные, вкрапленные, реже сетчатые и массивные. Содержание олова 1—4 %. Возможно присутствие свинца, цинка, меди, висмута, серебра. Масштабы запасов месторождений составляют десятки тысяч тонн — до 150 тыс. т олова.

В СССР месторождения данного типа находятся в Приморье (Смирновское), Малом Хингане (Джалинда, Хинганское), Забайкалье, а за рубежом — в Боливии (Ллалагуа, Потоси, Оруро), Мексике (Дуранга), Японии (Акеноби), КНР.

Месторождение Потоси (см. рис. 15) связано с массивом липаритов, залегающим в осадочных породах палеозоя — кайнозоя. На поверхности обнажается более 30 рудных жил, локализующихся как в липаритах, так и во вмещающих породах. Мощность жил колеблется от 0,1 до 0,3 м (в раздувах до 1,5 м). В верхней части месторождения мелкие жилы формируют штокверковые зоны мощностью от 4,5 до 10 м. Руды сложены касситеритом, пиритом, кварцем; присутствуют станнин, халькопирит, арсенопирит, аргентит и другие минералы серебра. Текстуры руд массивные, полосчатые, колломорфные. Содержание олова в руде 1—1,2 %.

Грейзеновые месторождения олова представлены жилами и штокверками, реже трубообразными телами. Они связаны с гранитными интрузиями и приурочены к их куполам, штокам, апофизам, породам кровли. Размеры жил по простиранию и падению десятки — сотни метров, мощность от 0,1 до 3 м. Руды обычно комплексные, помимо олова содержат вольфрам, тантал, ниобий. В состав руд входят касситерит, вольфрамит, арсенопирит, кварц, альбит, ортоклаз, мусковит, топаз, флюорит и турмалин. Горизонтальная зональность выражена в уменьшении содержания касситерита и увеличении содержания сульфидов по мере удаления от интрузива. В СССР к этому типу принадлежат месторождения Этыка (Забайкалье), Экуг (Чукотка), Кестер, Бутыгычаг (Якутия), Олонойское (Малый Хинган), Чапаевское (Приморье), Актас (Средняя Азия). За рубежом такие месторождения известны в ГДР (Альтенберг), ЧССР (Циновец), КНР (Лиму), Бирме (Маучи), США.

Месторождение Альтенберг в ГДР приурочено к купольной части крупного штока гранит-порфиров. Руды образуют штокверк с сечением 0,4×0,5 км. Грейзены состоят из кварца (60 %), слюд (30—35 %) и топаза (5 %). Главные рудные минералы — циннвальдит и касситерит, второстепенные — висмутин, арсенопирит, пирит, халькопирит, молибденит, вольфрамит, сфалерит, блеклые руды.

Скарновые месторождения ассоциируют с гранитами и гранитоидами и размещаются в непосредственном контакте массивов с известняками и доломитами. Рудные тела имеют согласную пластообразную и линзовидную, а также секущую трубо- и жилообразную форму. Руды сложные по минеральному составу и состоят из касситерита, шеелита, магнетита, пирротина, арсенопирита, граната, пироксена, флюорита. Текстуры вкрапленные и полосчатые. Кроме олова присутствуют вольфрам, медь, свинец, цинк. В СССР месторождения этого типа находятся в Приморье (Ярославское), Средней Азии (Майхура), Карелии (Питкяранта, Китяля), а за рубежом — в КНР (Лаочан), Малайзии, Индонезии (Клаппа), Мексике (Сан-Антонио).

Месторождение Лаочан локализуется на северо-восточном крыле крупной куполообразной складки; на глубине располагается массив гранитоидов. Оруденение связано со скарнами, которые развиты по контакту гранитоидов и известняков и тяготеют к разрывным нарушениям и напластованию в карбонатных породах. Руды вкрапленные и сплошные касситерит-сульфидные; встречаются также касситерит-турмалиновые жилы. В составе наиболее крупного рудного тела, приуроченного к субширотному разрыву, входят кварц, касситерит, арсенопирит, вольфрамит, берилл.

Россыпные месторождения дают 75 % добычи олова капиталистических и развивающихся стран, более 30 % добычи олова в СССР. По условиям образования выделяют россыпи элювиальные, делювиальные, аллювиальные и прибрежные, а по условиям залегания — россыпи современных долин, погребенные и ископаемые. Для формирования россыпей наиболее благоприятны месторождения штокверковых руд. Элювиальные и делювиальные россыпи имеют небольшие размеры при мощности от 20—30 до 60 м. Аллювиальные россыпи прослеживаются на расстояние до 5—10 км при мощности оловоносного пласта в среднем 0,5—1 м. Для прибрежно-морских россыпей характерны гораздо большие размеры в плане и мощность.

Касситерит равномерно распределен в аллювиальных и прибрежных россыпях и крайне неравномерно — в элювиальных и делювиальных. Содержание его колеблется от сотен граммов до нескольких килограммов на кубический метр, составляя в среднем 0,5—0,8 кг/м³. Масштабы запасов — до первых сотен тысяч тонн олова. В качестве сопутствующих компонентов могут присутствовать вольфрам, тантал, ниобий, цирконий, золото и др.

Оловоносные россыпи известны в СССР на Чукотке (Пыркай), в Якутии (Депутатское), Приморье (Воскресенское), а за рубежом — в Малайзии (Кинта, Перак), Индонезии (Банка), Таиланде, КНР (Нюшипо), Вьетнаме (Тин-Тук), Бразилии, Заире (Манано-Китотоло), Нигерии (Баучи, Джос).

Наиболее крупные месторождения россыпного олова — Перак, Кинт, Селангор, Негрри, Сембилан — находятся в Малайзии, где всего известно более 500 приисков и рудников. *Месторождение Перак* дает до 60 % добычи олова. Россыпи преимущественно аллювиальные. Плотик сложен известняками и кристаллическими сланцами, перекрытыми покровом латеритов. В ряде россыпей плотик представлен выветрелыми гранитами, которые также являются объектом обработки.

Контрольные вопросы и задания

- 1 В каких областях промышленности применяется олово?
2. Дайте характеристику минерально-сырьевой базы по странам.
3. Назовите промышленные минералы и типы руд олова.

4. Опишите геологическое строение и вещественный состав гидротермальных месторождений олова. Приведите примеры.

5. Какие особенности морфологии и условий залегания свойственны россыпным месторождениям олова? Приведите примеры.

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.

Запасы и добыча. Общие запасы свинца (без СССР) оцениваются в 177 млн. т, цинка — 319 млн. т, достоверные соответственно равны 112 и 270 млн. т. Большинство разведанных запасов свинца (80 %) и цинка (75 %) сосредоточены в США, Австралии, Канаде. Значительны также запасы этих металлов в Мексике, ЮАР, Иране, Испании, Перу. Годовая добыча свинца составляет 2,6 млн. т, цинка — 5,0 млн. т; она ведется в небольших масштабах в США, Австралии, Канаде, ЮАР, Перу, Мексике, Швеции. За последние годы существенно возросла доля вторичного свинца в балансе его потребления развитыми капиталистическими странами.

Цены на свинец и цинк на мировом рынке составляют соответственно 420 и 845 дол. за 1 т.

Запасы свинца и цинка в СССР 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 ($<0,2$).

Геохимия и минералогия. Кларк свинца 0,0016 %, цинка 0,01 %. Коэффициенты их концентрации в месторождениях равны соответственно 2000 и 500. Повышенные содержания металлов характерны для средних и кислых пород. Главные минералы свинца — галенит PbS (86,6 %), джемсонит $Pb_4FeSb_6S_{14}$ (40,2 %), буланжерит $Pb_5Sb_4S_{11}$ (55,4 %), бурнонит $CuPbSbS_3$ (42,6 %). Основные минералы цинка — сфалерит и вюрцит ZnS (67 %), смитсонит $ZnCO_3$ (52 %), каламин $Zn[Si_2O_7](OH)_2$ (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.

Типы промышленных месторождений

Все месторождения свинца и цинка являются постмагматическими; среди них различают гидротермальные плутогенные, скарновые, вулканогенно-осадочные (колчеданные) и гидротермально-осадочные (стратиформные). Около двух третей мировых запасов свинца и цинка содержится в месторождениях стратиформного и колчеданного типов. Для СССР существенна также роль скарновых месторождений. Выделение метаморфизованных месторождений проблематично.

Гидротермальные плутогенные месторождения связаны с массивами гранитоидов и малыми интрузиями гранодиорит-порфиров или гранит-порфиров. Рудные тела имеют пластообразную, линзовидную, штоко-, трубо-, жилообразную и штокервовую форму. Они прослеживаются на десятки и сотни метров по простирацию и падению при мощности от 0,5 до 200 м и более.

Руды сложены пиритом, пирротином, сфалеритом, галенитом, арсенопиритом, марказитом, буланжеритом, джемсонитом, а также кварцем, кальцитом и доломитом. Текстуры руд массивные и вкрапленные. Содержание свинца колеблется от 2 до 10,5 %, цинка — от 2,5 до 10 %. Масштабы запасов десятки — сотни тысяч тонн свинца и цинка.

Месторождения этого типа в СССР находятся на Кавказе (Садон, Згид, Холст), Средней Азии (Кургашинокан), Забайкалье (Нерчинская группа), а за рубежом — в НРБ (Мадан, Руен), ЧССР (Пршибрам), ВНР (Дьендешороши), ГДР (Фрайберг), Индии, США (Тинтик, Ледвилл), Канаде.

Месторождение Кургашинокан расположено в северной части Алмаыкского рудного поля. Оно приурочено к девонским доломитам, известнякам, мергелям и песчаникам, сохранившимся среди сиенит-диоритов. Осадочная толща, образующая антиклинальную складку, имеет мощность 400 м.

Месторождение разделено на блоки разрывными нарушениями, вдоль которых локализуется оруденение (рис. 45). Рудные тела, развитые в пределах контактовой зоны, залегают в виде линз, и столбов. Вкрапленные и массивные руды, обра-

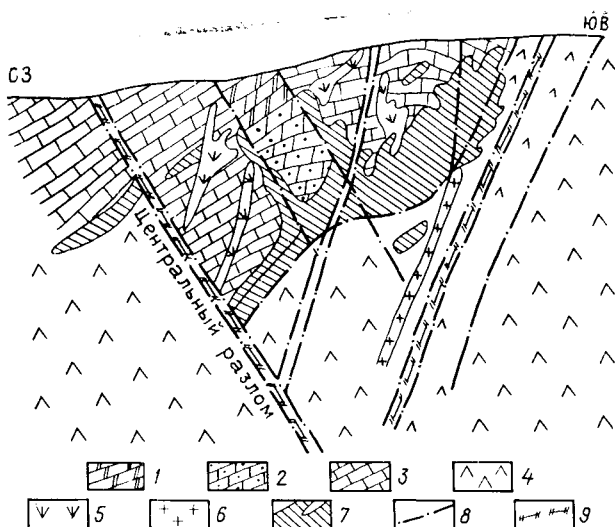


Рис. 45. Схематический геологический разрез месторождения Кургашинок (по Л. М. Афанасьеву и др.):

1—2 — доломиты: 1 — слоистые (D_3f_3), 2 — массивные (D_3f_2); 3 — известково-мергелистый горизонт (D_3f_1); 4 — сиенит-диориты, диориты (C_2); 5 — сиенит-порфиры; 6 — гранодиорит-порфиры; 7 — свинцово-цинковые рудные тела; 8 — разрывные нарушения; 9 — зоны дробления

зующие рудные тела, состоят из магнетита, пирита, сфалерита и галенита, а также из серицита, альбита, кальцита, кварца.

Скарновые месторождения свинца и цинка связаны с массивами гранодиорит-порфиров и гранит-порфиров, располагаются вдоль их контакта с осадочными и вулканогенно-осадочными карбонатными породами и контролируются разрывными нарушениями, зонами трещиноватости. Скарновые залежи имеют пласто-, жилообразную и линзовидную форму, а рудные массы слагают в них тела сложной формы — линзы, столбы, гнезда. Размеры рудных тел десятки — первые сотни метров по простиранию и падению при мощности от 1 до 10 м. В рудах кроме галенита и сфалерита присутствуют пирит, халькопирит, пироксен, гранаты. Текстуры вкрапленные и массивные. Содержание свинца 4—6 %, цинка 5—7 %; попутными компонентами являются медь, висмут, кадмий, цинк. Масштабы запасов — сотни тысяч — миллионы тонн свинца и цинка.

Скарновые месторождения известны в СССР — Приморье (Верхнее, Дальнегорское, Николаевское), Казахстане (Аксоран), Средней Азии (Алтын-Топкан, Кансай, Дарбаза), а за рубежом — в СФРЮ (Трепча), Швеции (Сала), США (Лоуренс), Мексике (Эль-Потоси), Аргентине, КНР.

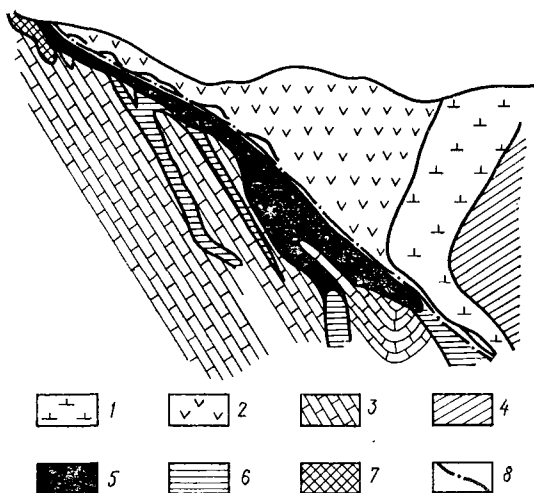


Рис. 46. Схематический геологический разрез Дальнегорского месторождения (по И. Н. Томсону и Н. Н. Мозговой):

1 — андезиты; 2 — кварцевые порфиры (ольгинские); 3 — известняки; 4 — кремнистые сланцы; 5—6 — геденбергит-сульфидное рудное тело: 5 — в плоскости разреза, 6 — в проекции; 7 — залежи каламиновых руд; 8 — разрывные нарушения

Дальнегорское месторождение сложено толщей известняков, на которые по главному разлому надвинуты кварцевые порфиры. Оруденение тяготеет к зоне надвига, вдоль него вытянуто основное рудное тело — ветвящаяся трубообразная залежь (рис. 46), прослеженная по вертикали на 600 м. Состав первичных руд аналогичен таковому на других скарновых месторождениях. В зоне окисления (первые десятки метров в глубину) развиты каламиновые руды. Текстуры руд — массивные, полосчатые, сфероидальные и друзовые; структуры — крупнокристаллические и колломорфные.

Месторождение Алтын-Топкан приурочено к длительно развивавшейся зоне тектонического контакта между гранитоидами позднего палеозоя и карбонатными породами позднего девона — раннего карбона (см. рис. 17). Вдоль этой зоны внедрялась серия даек и штоков гранодиорит- и гранит-порфиров, диабазовых порфиров, вслед за которыми сформировались скарновые рудные залежи. Последние имеют форму сложных ветвящихся трубообразных тел, располагающихся вдоль контакта изверженных и карбонатных пород. Руды представлены гранат-пироксеновыми скарнами, содержащими вкрапленность галенита, сфалерита, пирита, халькопирита, реже тетраэдрита, гематита и магнетита.

Вулканогенно-осадочные полиметаллические колчеданные месторождения пространственно и генетически связаны

с кислыми производными базальтоидного вулканизма и залегают среди метаморфизованных вулканогенных и осадочных пород. Рудные тела пластообразной и линзовидной формы локализируются на контакте различных по литологическому составу пород, в зонах трещиноватости, на крыльях складок. Размеры тел достигают 1—2 км по простиранию и 500 м по падению при мощности от первых метров до 15—20 м (иногда до 50 м). Руды состоят из пирита (80—90 %), сфалерита, галенита, халькопирита, кварца и барита. Вокруг рудных тел породы интенсивно изменены. Текстуры руд массивные и вкрапленные. Содержание свинца изменяется от 3 до 25 %, цинка от 2,5 до 15 %. Кроме свинца и цинка из руд могут извлекаться медь, кадмий, сера, рассеянные и редкие элементы. Масштабы запасов — сотни тысяч — миллионы тонн свинца и цинка.

В СССР к данному типу относятся месторождения Рудного Алтая (Зыряновское, Лениногорское, Риддер-Сокольное, Тишинское, Белоусовское), Прибайкалья (Холоднинское), Забайкалья (Озерное), Казахстана (Жайрем, Текели), Кавказа (Филизчай, Маднеули). За рубежом такие месторождения известны в ФРГ (Раммельсберг), Испании (Рио-Тинто), Норвегии, Швеции (Фалун), Турции (Эргани), Бирме (Боудвин), Японии (Шаканаи), Австралии (Нейрни), Кубе (Санта-Лусия), США (Веста-Шаства), Канаде (Сулливан).

На *Лениногорском месторождении* толща девонских туфов, туфопесчаников, алевролитов, аргиллитов, алевропелитов и глинистых сланцев прорвана гранодиоритами. Оруденение приурочено к контакту серицитизированных и ороговикованных пород с алевролитами. В ороговикованных породах наблюдается прожилково-вкрапленное полиметаллическое оруденение. Непосредственно под алевролитами залегают пластообразные тела сплошных сульфидных руд. Они развиты только на участках пересечения рудовмещающих пород крутопадающими разрывами, ограничивающими распространение руд. В составе руд присутствуют сфалерит, галенит, халькопирит, пирит, кварц, барит, карбонаты, хлорит, серицит. Руды по структуре тонкозернистые, что усложняет технологию их обогащения.

Месторождение Жайрем в Центральном Казахстане сложено девонскими вулканогенно-осадочными, а также каменноугольными глинисто-карбонатными и песчано-аргиллитовыми породами. Магматические образования представлены субвулканическим телом трахитовых порфиров. Рудные тела имеют форму пластов и линз мощностью от 5 до 25 м. В состав руд входят пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, гематит, марказит, кварц, барит, кальцит, доломит, флюорит. Текстуры руд вкрапленные, полосчатые, брекчиевые, структуры — глобулярные и колломорфные. В рудах присутствуют кадмий, индий, висмут, никель, мышьяк, галлий, таллий, германий.

В районе *месторождения Рио-Тинто* развита вулканогенно-осадочная толща нижнего карбона мощностью 600—800 м. Эти породы выполняют пологую синклиналь, которая осложнена антиклиналью, сформировавшейся на месте вулкано-купольной постройки (см. рис. 21). Форма рудного тела сложная: в верхней части — это согласная пластовая залежь колчеданных полиметаллических руд, в значительной степени эродированная, в нижней — штокверк прожилково-вкрапленных медноколчеданных руд. Оруденение прослеживается до глубины около 300 м. Главные рудные минералы — пирит, халькопирит, галенит и сфалерит, второстепенные — арсенопирит, пирротин, бурнонит и пираргирит, жильные — кварц, барит, карбонаты. Текстуры руд массивные и полосчатые. Содержание в них меди — 10 %, свинца — 1 %, цинка — 2 %. В зоне окисления (железной шляпе) отмечаются повышенные концентрации золота (до 25 г/т) и серебра (до 45 г/т).

Гидротермально-осадочные (стратиформные) месторождения приурочены к мощным толщам карбонатных пород, которые сохраняют рудоносность на десятки — сотни километров. Для месторождений характерны стратиграфический и литологический контроль, отсутствие в районе магматических образований. Рудные тела представлены преимущественно согласными пластовыми и лентовидными залежами многоярусного строения. Они прослеживаются по простиранию на сотни метров — первые километры, по падению на 800—1000 м при мощности от 0,5 до 200 м (в среднем 10—20 м). В состав руд входят сфалерит, галенит, пирит, кальцит, доломит, барит. Текстуры руд вкрапленные, полосчатые, прожилковые, редко массивные. Содержание свинца от 0,4 до 1,5—3 %, цинка от 1 до 6 %. Масштабы запасов оцениваются в сотни тысяч тонн свинца и цинка.

Месторождения данного типа известны в СССР в Казахстане, (Миргалимсай, Шалгия), Средней Азии (Уч-Кулач, Сумсар, Джергелан), Якутии (Сардана), а за рубежом — в ПНР (Олькуш, Болеслав), НРБ, СФРЮ (Межица), Австрии (Бляйберг), Франции (Малин), Италии, Испании (Реосин), Иране (Ангуран), Марокко (Бу-Беккер), Алжире (Эль-Абед), Тунисе (Сиди Дрио), США (Миссисипи — Миссури), Канаде (Пайн-Пойнт).

Миргалимсайское месторождение сложено карбонатными породами девона и карбона общей мощностью до 700 м. По литологическим признакам выделяют 11 горизонтов известняков и доломитов массивной, ленточной и комковатой текстур. Преобладающее число рудных тел приурочено ко второму ленточному горизонту доломитов и известняков, находящемуся в средней части разреза. Мощность горизонта от 2 до 25 м. В пределах месторождения развиты брахиантиклинальные структуры и разрывные нарушения типа надвигов и взбросов, разделяющие

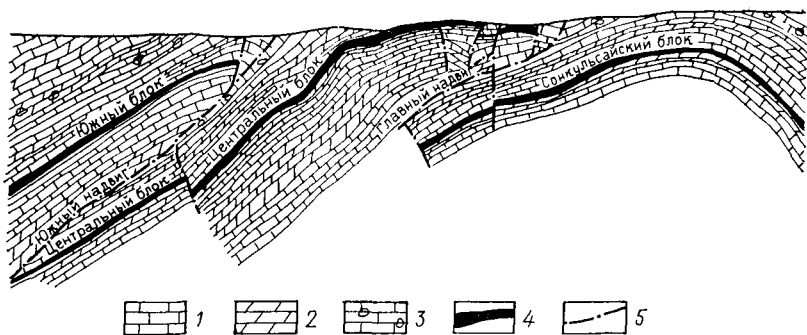


Рис. 47. Схематический геологический разрез месторождения Миргалимсай (по материалам Миргалимсайской ГРП):

1 — известняки; 2 — доломиты; 3 — брекчированные известняки; 4 — рудные тела; 5 — разрывные нарушения

месторождение на блоки (рис. 47). Разрывные нарушения сопровождаются зонами брекчирования, смятия и трещиноватости, в которых локализуются руды. Руды состоят из пирита, галенита, сфалерита, карбонатов и барита, образуя вкрапленность и редкие гнезда сплошных сульфидов. Из руд извлекают свинец и барит. Сопутствующими компонентами являются серебро, германий, теллур, кобальт, висмут, кадмий.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите области применения свинца и цинка.
2. Приведите данные о запасах и добыче свинца и цинка.
3. Расскажите об особенностях геохимии и минералогии свинца и цинка. Какие показатели кондиций установлены для различных типов руд?
4. Какие особенности морфологии, условий залегания и вещественного состава характерны для гидротермальных свинцово-цинковых месторождений? Приведите примеры.
5. Опишите геологическое строение и вещественный состав колчеданных полиметаллических месторождений. Приведите примеры.
6. Какие геологические условия отличают стратиформные месторождения свинца и цинка? Приведите примеры.

СУРЬМА И РТУТЬ

Общие сведения

Применение. Сурьма используется преимущественно (более 50 %) для получения сплавов с повышенными твердостью и стойкостью к окислению (сурьмянистый свинец для аккумуляторов и оболочек кабелей, типографский и подшипниковые сплавы). Соединения сурьмы применяются в лакокрасочной,

стекольной, текстильной, резиновой промышленности. Ртуть, способная находиться в жидком состоянии и обладающая 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.

Запасы и добыча. Общие запасы сурьмы в капиталистических и развивающихся странах оцениваются в 2,1 млн. т, ртути — в 150 тыс. 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). Основные месторождения ртути расположены в Испании (90 тыс. т), Италии (12 тыс. т), Турции, Мексике, США, Канаде. Добыча сурьмы ведется преимущественно в ЮАР, Боливии, Канаде, Турции, Таиланде, Марокко и составляет 30 тыс. т., но первое место в мире по запасам и добыче занимает КНР. Основная добыча ртути — 3,7 тыс. т в год приходится на Испанию (40 %), Италию, Мексику, Канаду, США, Турцию, Алжир, Японию. Цены на сурьму и ртуть подвержены значительным колебаниям и составляют в настоящее время соответственно 3 и 8,5 дол за 1 кг.

СССР имеет надежную минерально-сырьевую базу сурьмы в ртути. Ведущие по запасам биметалльные месторождения расположены 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 Sb и >25 Hg), крупные (30—100 Sb и 10—25 Hg), средние (10—30 Sb и 3—10 Hg), мелкие (<10 Sb и <3 Hg).

Геохимия и минералогия. Кларк сурьмы 0,00005 %, ртути 0,000003 %. Коэффициент концентрации их исключительно высокий — 100 000. 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 их монометаллических руд, из комплексных 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 монометаллических средних и мелких месторождениях 1,5—2 %; в комплексных крупных — 0,1 %.

Типы промышленных месторождений

Промышленные месторождения сурьмы и ртути относятся к трем типам: гидротермальным плутогенным, гидротермальным вулканогенным и гидротермально-осадочным (стратиформным). Основное промышленное значение в несоциалистических странах 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 залегают среди терригенных, карбонатных, магматических и метаморфических пород, приурочены к региональным разломам, зонам дробления и трещиноватости. Для рудных тел характерны жильная, трубообразная, линзовидная, гнездовая и штокверковая формы. Жильные тела встречаются чаще. Они прослеживаются по простиранию и падению на сотни метров. Мощность их от 0,1 до 6 м, в среднем 1—2 м. Сурьмяные и ртутные руды имеют относительно простой состав и содержат кроме основных рудных минералов второстепенные — пирит, арсенопирит и халькопирит. Жильные минералы представлены кварцем, карбонатами, хлоритом, серицитом. Содержание сурьмы от 2 до 40 % (среднее 12 %), ртути до 2—3 %. В комплексных рудах существенную роль играют вольфрамит, шеелит, касситерит, галенит, сфалерит. Масштабы запасов — тысячи — десятки тысяч тонн металлов.

Месторождения этого типа известны в СССР в Якутии (Сарылах), Забайкалье (Ильдикан), Красноярском крае (Удереysкое, Раздольнинское), Средней Азии (Сары-Булак, Тепар), а за рубежом — в ЧССР (Пезинок), КНР (Воси), Турции (Эздемир), Тунисе (Джабель-Аджа), ЮАР (Гравеллот), Австралии (Блю-Спек), США (Нью-Альмаден, Нью-Идрия), Боливии (Чилкобийя), Мексике (Техакатес).

Месторождение Сарылах сложено крутопадающей толщей песчаников и алевролитов триаса, прорванной штоком кварцевых диорит-порфириров. Месторождение контролируется крупным разломом. Рудное тело представлено кварц-антимонитовой жилой, которая приурочена к зоне дробления мощностью 15—18 м. Протяженность жилы по простиранию — сотни метров. Кроме главных минералов (кварц, антимонит) руды содержат пирит и арсенопирит. Текстуры руд массивные (висячем боку), а также гнездовые, прожилковые и вкрапленные (в лежащем боку и зонах выклинивания).

В районе *месторождения Нью-Альмаден* (Калифорния) развиты эффузивно-терригенные породы (граувакки, аркозы и

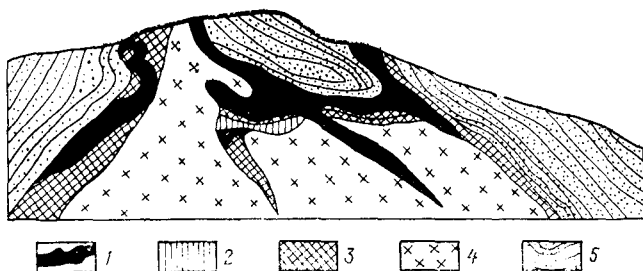


Рис. 48. Схематический геологический разрез месторождения Нью-Альмаден (по В. Шютту):

1 — ртутная руда; 2 — глина трения; 3 — брекчия; 4 — серпентиниты; 5 — песчаники и сланцы

сланцы, туфы, лавы). Протяженный региональный разлом контролирует размещение массивов серпентинизированных основных пород и оруденения. Рудные тела размещаются в купольной части одного из штоков серпентинитов (рис. 48) и локализуются вдоль разрывов, зон трещиноватости и дробления. Размеры рудных тел колеблются весьма значительно, встречаются как мелкие гнезда, так и крупные протяженностью до 300 м при ширине до 70 м и мощности 5 м. Основной рудный минерал — киноварь, в небольшом количестве присутствуют пирит, антимонит, халькопирит, сфалерит, галенит; жильные минералы — кварц и доломит.

Гидротермальные вулканогенные месторождения сурьмы и ртути тяготеют к областям молодого вулканизма и связаны с андезитовыми и липаритовыми комплексами. Они контролируются вулканогенными структурами, а также зонами дробления, трещиноватости, разломами. Рудные тела представлены ветвящимися жилами, штокверками, трубообразными, линзовидными, гнездовыми и более сложными залежами. Размеры их обычно незначительные: десятки — первые сотни метров по простиранию и падению при мощности от 0,1 до 10 м. Руды имеют сложный состав как в монометалльных, так и в комплексных месторождениях. Кроме главных минералов сурьмы и ртути — киновари и антимонита, присутствующих отдельно или вместе, отмечаются сульфиды железа, меди, свинца, цинка, халцедон, опал, серицит, карбонаты. Содержание сурьмы 2—4 %, ртути — от 0,1—0,2 % в бедных рудах до 3—5 % в богатых. Масштабы запасов — тысячи — сотни тысяч тонн сурьмы и ртути.

К рассматриваемому типу относятся сурьмяные месторождения СРР (Бая-Маре, Бая-Спрые), Турции (Текгер), Алжира, США (Иеллоу-Пайн), ртутные месторождения Италии (Монте-Амната), СФРЮ (Идриня), Японии (Итомука), Новой Зеландии (Пуи-Пуи), США, (Мак-Дермит, Сульфур-Бенк). В СССР

известны ртутные месторождения на Чукотке (Пламенное), Камчатке, в Приамурье, Закарпатье (Большой Шаян, Боркут).

Участок *месторождения Монте-Амиата* сложен верхнемеловыми известняками и сланцами, выше которых залегают трахиты четвертичного вулкана (см. рис. 16). Месторождение приурочено к сбросо-сдвигу северо-восточного простирания. Рудоносная залежь представлена межформационной (на контакте вулканитов и осадочных пород) тектонической брекчией. Она имеет плащеобразную форму и состоит из отдельных минерализованных блоков. Размеры залежи — 30×20 км. Рудные тела в пределах минерализованных блоков имеют форму линз, гнезд, трубообразных тел и прослеживаются на глубину 100—150 м. Главный рудный минерал — киноварь, второстепенные — реальгар, аурипигмент, самородная сера, флюорит. Текстуры руд массивные, брекчиевые, вкрапленные, прожилковые. Содержание ртути на верхних горизонтах 3—4 %, на нижних — около 0,7 %. Общие запасы на начало 1986 г. составили 12 тыс. т.

Гидротермально-осадочные (стратиформные) месторождения приурочены к карбонатным и терригенным породам, собранным в складки, которые осложнены разрывными дислокациями. Рудные тела представлены согласными пластообразными залежами и линзами, а также сопряженными с ними жилами и штокверками. Мощность рудоносных горизонтов 30—40 м. Они прослеживаются на сотни метров — несколько километров по простиранию и до 100 м по падению. Главными минералами являются антимонит, киноварь (встречаются вместе или раздельно), второстепенными — марказит, пирит, арсенопирит, сфалерит и халькопирит, жильными — кварц, кальцит, флюорит и серицит. Текстуры руд вкрапленные, прожилковые, брекчиевые, полосчатые, массивные. Содержание сурьмы в рудах варьирует от 1 до 12 % (среднее 1,5—3 %), ртути — от 1 до 10 %. Масштабы запасов — десятки — сотни тысяч тонн сурьмы и ртути.

В СССР к данному типу принадлежат месторождения Средней Азии (сурьмяные — Кадамжай, Джижикрут, Терек; ртутные — Хайдаркан, Чаувай), Кавказа (ртутное Сахалинское), Донбасса (ртутное Никитовка). За рубежом сурьмяные месторождения известны в КНР (Синьхуаньшань), НРБ (Рыбново), Италии (Перетта) и Мексике (Сан-Хосе), ртутные — в Испании (Альмаден), КНР (Ваньшань), Перу.

В районе *месторождения Хайдаркан* распространены массивные и слоистые известняки, глинистые сланцы, образующие широтные антиклинальные складки сундучного облика, осложненные разломами. Оруденение приурочено к брекчиям окварцованных известняков — джасперондов. Рудные тела имеют пласто-, линзо-, трубо- и гнездообразную форму и локализуются

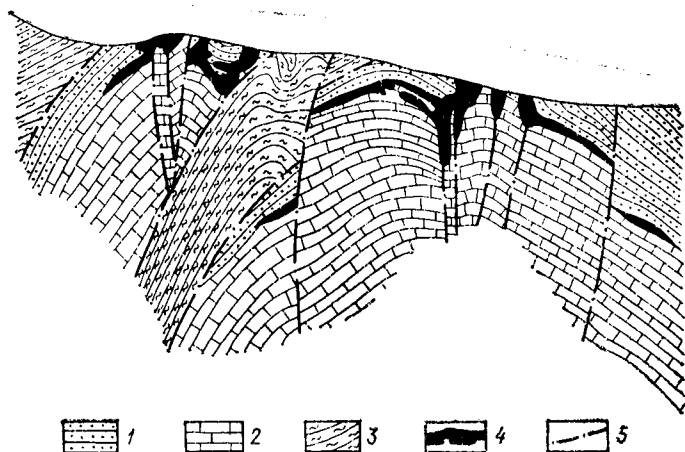


Рис. 49. Геологический разрез месторождения Хайдаркан (по Н. А. Никифорову):

1 — песчаники; 2 — известняки; 3 — сланцы; 4 — руды; 5 — разрывные нарушения

в сводах антиклиналей на контакте массивных известняков с вышележащими глинистыми сланцами, а также вдоль разломов (рис. 49). Характерно неравномерное распределение оруденения с образованием рудных столбов.

На месторождении выделяются ртутные и сурьмяно-ртутные руды. Главные рудные минералы — киноварь и антимонит, жильные — кварц, флюорит и кальцит, второстепенные — пирит, арсенопирит, блеклые руды, галенит, сфалерит, реальгар и аурипигмент. Текстуры руд вкрапленные, пятнистые, гнездовые, брекчиевые, массивные, гребенчатые, друзовые.

Месторождение Кадамджай залегает в антиклинальной складке, образованной массивными и слоистыми известняками карбона, мергелями и сланцами девона (см. рис. 23). Сбросы и надвиги делят антиклиналь на отдельные блоки. Рудная залежь имеет пластообразную, седловидную форму. Сложена она роговиково-кремнистой брекчией, в которой обломки окремнелых мергелей и известняков (джаспероидов) сцементированы кварцем и антимонитом. Длина залежи по простиранию более 2 км. Богатые рудные участки расположены в сводах антиклинали под сланцевым горизонтом. Текстуры руд массивные, брекчиевые, вкрапленные, прожилковые, полосчатые, друзовые. Кроме кварца и антимонита в рудах отмечаются пирит, марказит, реальгар, аурипигмент, флюорит и барит. Содержание сурьмы в рудах варьирует от 2,5 до 5 %. Около половины запасов приходится на окисленные руды.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие отрасли промышленности используют сурьму и ртуть?
2. Как распределены мировые запасы и добыча сурьмы и ртути по странам?
3. Назовите промышленные минералы и типы руд сурьмы и ртути.
4. Дайте сравнительную характеристику гидротермальных и гидротермально-осадочных (стратиформных) месторождений сурьмы и ртути. Приведите примеры.

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 валютной 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 (35 %), медицине (10 %). В последние годы золото широко используется в новой технике в качестве сварочного материала, для изготовления термопар, волосков хронометров и гальванометров, для покрытия поверхности космических аппаратов (для отражения тепла и света).

Запасы и добыча. Запасы золота в капиталистических и развивающихся странах, 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 капиталистических и развивающихся 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 — 5,0 %. Из других золотодобывающих стран можно назвать Филиппины, Зимбабве, Гану, Колумбию, Мексику (10—20 т в год). В СССР золото добывается в Якутии, Забайкалье, Средней Азии, на Урале. Цена золота на мировом рынке за пятилетие (1981—1985 гг.) снизилась с 14,8 до 10,5 дол/г.

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 СССР 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, арсенопирите, 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 пробыстью. 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», СССР) и 285 кг («Плита Холтермана», Австралия).

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 вкрапле-

ния золота. Месторождения этого типа широко распространены. В СССР 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), Намоёя (Заир), Баомукан (Сьерра-Леоне), Поркьюпайн (Канада), Морру-Велью, Пассагейм (Бразилия).

В районе месторождения Мурунтау развита толща песчаников и сланцев протерозоя — раннего палеозоя, прорванных штоками гранодиоритов и дайками гранит- и сиенит-порфиров. Оно представлено залежами сложной формы, образующими штокверк. В состав рудных тел входят кварц, ортоклаз, кальцит, галенит и др.

Месторождение Колар в Индии приурочено к протяженному меридиональному трогу, выполненному архейскими гнейсами и амфиболитами. Рудные тела — протяженные (до 8 км) жилы мощностью от нескольких сантиметров до 1,5 м — сложены золото-кварцевыми с содержанием золота в среднем 10—15 г/т и золото-кварц-сульфидными с содержанием 4—6 г/т рудами. Главными минералами жил являются кварц, пирит, пирротин, арсенопирит, галенит, самородный висмут, магнетит и ильменит.

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 галенит. Золото присутствует в самородном виде в кварце и сульфидах. К месторождениям этого типа в СССР относятся Березовское (Урал), Степняк (Казахстан), Берикульское и Саралинское (Западная Сибирь), Дарасунское (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 СССР относятся месторождения Балей, Тассеевское, Белая Гора (Забайкалье), Зодское (Кавказ), а за рубежом — Нашат (СРП), 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. Подоб-

ного типа месторождения имеются также в Австралии, Канаде (Блайнд-Ривер), Бразилии.

Рудное тело Витватерсранд имеет размеры 350×200 км². В его разрезе слои конгломератов, кварцитов и сланцев чередуются с пластами эффузивных пород. Рудные тела — пачки золотоносных конгломератов — разделены прослоями кварцитов. Мощность пластов рудоносных конгломератов варьирует от нескольких сантиметров до 3 м при протяженности их по простиранию до 70 км и по падению до 8 км. Конгломераты прослежены на глубину 4,6 км. Они сложены окатанными гальками кварца, кварцитов и сланцев. Цемент состоит из кварца, хлорита, серицита, эпидота, карбонатов, углистого вещества, пирита, пирротина, халькопирита, сфалерита, галенита, арсенопирита и урановых минералов. Содержание золота от 8 до 20 г/т. Извлекаются также серебро, металлы платиновой группы, уран и алмазы.

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 СССР россыпи промышленного значения находятся в бассейнах рек Лены, Колымы, Алдана, Бодайбо, Енисея.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте характеристику минерально-сырьевой базы золота капиталистических и развивающихся стран.

2. Опишите особенности геохимии и минералогии золота. Какие показатели кондиций установлены для различных типов руд золота?

3. Какие особенности геологического строения и вещественного состава характерны для гидротермальных золоторудных месторождений?

4. Что представляют собой метаморфизованные месторождения золотоносных рудных конгломератов?

СЕРЕБРО

Общие сведения

Применение. Серебро используется при чеканке монет и медалей (10 %), изготовлении литых серебряных и посеребренных изделий (20 %), в электротехнической, электронной промышленности, в ракето- и самолетостроении, при производстве химической аппаратуры и оборудования, в фото- и кинопромышленности, фарфоровом и керамическом производстве, медицине (70 %).

Запасы и добыча. Разведанные запасы серебра капиталистических и развивающихся стран составляют 360 тыс. т, общие запасы — 500 тыс. т. Они сосредоточены в США, Мексике, Ка-

наде, Перу, Австралии. Около 90 % запасов серебра находится в комплексных рудах. К крупным относятся месторождения с разведанными запасами серебра свыше 1 тыс. т, к средним — от 100 т до 1 тыс. т, к мелким — менее 100 т. Добыча серебра — 7400 т без СССР — ведется в 45 странах. При этом около 70 % серебра извлекается при переработке руд цветных металлов, 10—15 % при переработке руд золото-серебряных месторождений и столько же из собственно серебряных месторождений. Цена серебра около 0,2 дол/г.

Геохимия и минералогия. Среднее содержание серебра в земной коре 7×10^{-6} %. Повышенные концентрации этого металла свойственны постмагматическим образованиям, где серебро сопровождает золото, медь, свинец и цинк. Коэффициент концентрации его достигает 1000. Известно около 60 минералов, содержащих серебро. Основными являются самородное серебро Ag (с примесями золота, меди, висмута, сурьмы, ртути), аргентит Ag_2S , пираргирит Ag_3SbS_3 и прустит Ag_3AsS_3 .

Типы руд и кондиции. Как уже отмечалось, серебро получают попутно при переработке полиметаллических свинцово-цинковых и медных руд, где минимальное содержание его должно быть более 10 г/т. В золото-серебряных рудах минимальное содержание металла около 100 г/т, а в рудах собственно серебряных месторождений — 400 г/т.

Типы промышленных месторождений

Серебро содержится в рудах месторождений различных генетических типов: магматических медно-никелевых; гидротермальных плутогенных медно-порфировых, свинцово-цинковых и золоторудных; гидротермальных вулканогенных золото-серебряных; скарновых медных и свинцово-цинковых; вулканогенно-осадочных колчеданных; гидротермально-осадочных (стратиформных) борнит-халькопиритовых и галенит-сфалеритовых. Собственно серебряные месторождения по генезису относятся к гидротермальным плутогенным и гидротермальным вулканогенным, из которых последний тип имеет наибольшее промышленное значение. Гидротермальные вулканогенные месторождения Мексики обеспечивают более 20 % добычи серебра в капиталистических странах. Наиболее крупные месторождения в районах Пачука и Вета-Мадре представлены кварц-карбонатными жилами протяженностью до 1000 м и мощностью 2—5 м, которые залегают среди эффузивных образований.

Контрольные вопросы и задания

1. Приведите данные о мировых запасах и добыче серебра.
2. Назовите промышленные минералы и типы руд серебра.
3. Какие типы месторождений имеют промышленное значение?

МЕТАЛЛЫ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ

Общие сведения

Применение. В группу платиновых металлов кроме платины входят палладий, родий, осмий, рутений, иридий. Металлы платиновой группы благодаря высокой огнеупорности, хорошей электропроводности, химической стойкости и другим ценным свойствам используются в качестве катализаторов при получении серной и азотной кислот, высококачественного бензина и других продуктов (до 50 %), в электротехнической, автомобильной и медицинской промышленности (25 %), при производстве химической аппаратуры и антикоррозионных покрытий (15 %), ювелирных изделий (10 %).

Запасы и добыча. В капиталистических и развивающихся странах разведано 25,2 тыс. т запасов платиновых металлов, подавляющая их масса (24,6 тыс. т) сосредоточена в Бушвельдском комплексе ЮАР. Платиноносные месторождения известны также в Канаде, Колумбии, США, Эфиопии. Общие запасы оцениваются в 30—40 тыс. т. В СССР месторождения платиновых металлов имеются на Урале, в Сибири (Красноярский край, Якутия). Весьма крупными считаются месторождения с запасами (в т) свыше 50, крупными от 5 до 50, средними от 0,5 до 5, мелкими — менее 0,5.

Добыча платиновых металлов в капиталистических и развивающихся странах составляет около 100 т, в том числе 70 т платины. В основном платина добывается из месторождений собственно платиновых руд ЮАР, медно-никелевых руд Канады, из россыпей Колумбии, США, Эфиопии. Цены (в долларах за 1 г) следующие: платина 10, палладий 3, иридий 14, родий 30, осмий 31, рутений 3,4.

Геохимия и минералогия. Средние содержания (в %) металлов платиновой группы таковы: платины и рутения по $5 \cdot 10^{-7}$, палладия $1 \cdot 10^{-6}$, иридия и родия по $1 \cdot 10^{-7}$, осмия $5 \cdot 10^{-6}$. Повышенные концентрации характерны для основных и ультраосновных магматических пород. В постмагматических образованиях платиноиды ассоциируют с породами базальтового ряда. Максимальный коэффициент концентрации (1000) у платины, иридия и родия, средний (200) — у рутения, низкий (100—50) — у палладия и осмия. Известно более 90 минералов, содержащих платиноиды. Из них наиболее широко распространены самородная платина и твердые растворы (природные сплавы) платиноидов — ферроплатина, палладистая платина, иридистая платина, осмистый иридий. Встречаются также сульфиды, арсениды и сульфоарсениды платиноидов.

Типы руд и кондиции. Платиноносными являются ультраосновные породы, хромитовые, титаномagnetитовые и медно-

никелевые руды, а также россыпи. В коренных месторождениях минимальное содержание платиноидов составляет 2—5 г/т, в комплексных рудах (например, медно-никелевых) — 0,4 г/т, в россыпях — 0,5 г на 1 м³ песка.

Типы промышленных месторождений

Промышленными месторождениями платиноидов являются магматические ликвационные, раннемагматические и позднемагматические, а также россыпные, из которых добывается ныне менее 1 % металлов платиновой группы.

В ликвационных медно-никелевых месторождениях платиноиды образуют тонкую примесь в сульфидах — пентландите, пирротине, халькопирите — а также встречаются в виде самостоятельных минералов (характеристика медно-никелевых месторождений приведена ранее в разделе «Никель, кобальт»).

Раннемагматические месторождения приурочены к массивам ультраосновных пород — дунитов и перидотитов, где наблюдаются гнезда, линзы, жилы и шлиры рассеянной платины с хромитом и титаномагнетитом. Наиболее крупными являются месторождения Бушвельдского комплекса (ЮАР) и Великой Дайки (Зимбабве).

Позднемагматические месторождения представлены скоплениями платиноносных хромитов и рассеянной платиновой минерализацией в дунитовых интрузивах. Рудные тела имеют секущие границы, структура руд сидеронитовая. К данному типу относятся месторождения Нижне-Тагильское (Урал) и Лиденбург (ЮАР).

Россыпи платиноидов принадлежат к элювиальному, делювиальному и аллювиальному типам. Они формировались при разрушении платиноносных массивов ультраосновных пород. В аллювиальных россыпях содержание платиноидов изменяется от долей грамма до сотен граммов на 1 м³. Длина россыпей достигает нескольких десятков километров, ширина — до 300 м. Платиноносные россыпи известны в СССР (Урал), Заире, Зимбабве, Эфиопии, Колумбии, США (Аляска) и к настоящему времени почти полностью отработаны.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте характеристику областей применения, состояния запасов и добычи металлов платиновой группы.
2. Приведите данные о геохимии и минералогии металлов платиновой группы.
3. Какие типы руд и месторождений металлов платиновой группы имеют промышленное значение?

УРАН

Общие сведения

Применение. Уран является основным сырьем для производства атомной энергии, используется также в аналитической химии, фотографии, стекольной промышленности.

Запасы и добыча. Запасы урана подсчитываются для разного уровня себестоимости получения готовой продукции. При себестоимости 80 дол/кг (0,1—0,2 % U_3O_8), разведанные запасы урановых руд в капиталистических и развивающихся странах достигают 1,8 млн. т, а при себестоимости 130 дол/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 дол.

Геохимия и минералогия. Среднее содержание урана в земной коре $2,5 \cdot 10^{-4}$ %. 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 окисдные руды, меньшее — руды, состоящие из ванадатов (карнотит, тюямунит), фосфатов (торбернит, отенит) и арсенатов (цейнерит) урана. Минимальное содержание U_3O_8 в рудовых месторождениях 0,1 %, а в месторождениях с крупными запасами — 0,05 % и меньше.

Типы промышленных месторождений

Уран встречается во многих генетических типах месторождений. Главную роль играют гидротермальные плутогенные, гидротермальные вулканогенные, альбититовые, метаморфизо-

ванные, инфильтрационные выветривания и осадочные месторождения.

Гидротермальные плутогенные 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 плутогенные) 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 ЧССР и ГДР 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.

Альбититовые 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. Инфильтрацион-

ные месторождения имеют важное промышленное значение и широко распространены. Они известны в Канаде (Раббит-Лейк), США (плато Колорадо), Австралии (Рейнджер), а также в ФРГ, Франции, Великобритании, Италии, Австрии, СФРЮ, ВНР, СРР, Турции, Пакистане, Индии, Японии.

Осадочные урановые месторождения разделяются на морские, залегающие в карбонатных породах, углисто-кремнистых сланцах, фосфоритах, и континентальные, локализующиеся в торфяниках, лигнитах, бурых углях, конгломератах и песчаниках. Этим месторождениям присущи крупные запасы сравнительно бедных руд. Осадочные урановые месторождения находятся в Канаде (Китс, Гэз-Хилс), США (Амброзия-Лейк), Испания (Фе), Алжире, Тунисе, Марокко, Заире, Замбии, Аргентине, Австралии (Олимпик-Дам).

Контрольные вопросы и задания

1. Приведите данные о запасах и добыче урана
2. Какие особенности геохимии и минералогии характерны для урана?
3. Расскажите об особенностях геологического строения и вещественного состава различных типов месторождений урана.

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 том числе 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.

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 дол. за 1 кг, карбоната лития — 3,4 дол/кг.

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.

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.

Контрольные вопросы и задания

1. Приведите данные об областях применения лития, о запасах и добыче.
2. Какие минералы, типы руд и месторождений лития имеют промышленное значение?

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 неис-

крящихся 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 I класса.

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-ейндж (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 %. Мировая (без СССР) добыча бериллиевых концентратов (10 % BeO) достигает 100 тыс. т, производство бериллия — около 0,8 тыс. т. Цена 1 т BeO в концентрате — 11 тыс. дол, металлического бериллия — около 500 дол/кг.

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 %.

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 в несоциалистических странах 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 редкометалльные 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 плутогенные 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 — 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.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте характеристику направлений использования, состояния запасов и добычи бериллия.
2. Какие минералы, типы руд и месторождений бериллия имеют промышленное значение?

ТАНТАЛ И НИОБИЙ

Общие сведения

Применение. Тантал и ниобий близки по свойствам. Они широко используются для производства жаропрочных и нержавеющей сталей, сверхтвердых и сверхтугоплавких сплавов, приме-

няемых в ракетно-, авиастроении, атомной энергетике, радиоэлектронике, химическом машиностроении. Значительная часть тантала используется для производства электролитических конденсаторов для ракет, космических кораблей.

Запасы и добыча. Мировые запасы (без социалистических стран) 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 социалистических стран) ниобиевых (50—55 % Nb_2O_5) концентратов составляет 16 тыс. т, танталовых (60 % Ta_2O_5) — около 700 т. Кроме того, тантал извлекают при переработке шлаков оловоплавильных заводов (Таиланд, Малайзия, Заир). Цена 1 кг Nb_2O_5 изменяется от 7,16 дол. в пирохлоровом концентрате (60 % Nb_2O_5) до 9,4 дол. в колумбитовом, а цена 1 кг Ta_2O_5 в танталитовом концентрате составляет 60 дол.

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 карбонатов. 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) $(Nb, Ta)_2O_6$ (75—86 % $Nb_2O_5 + Ta_2O_5$), пирохлора — микролита $(Na, Ca)_2 \cdot (Nb, Ta)_2O_6(OH, F)$ (30—70 % $Nb_2O_5 + Ta_2O_5$) и лопарит $(Na, Cl, Ca) (Ti, Nb, Ta)O_3$ (8—20 % $Nb_2O_5 + Ta_2O_5$).

Типы руд и кондиции. Рассматриваемые металлы в месторождениях встречаются обычно совместно, образуя общие минералы. Соотношение Ta_2O_5/Nb_2O_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 %.

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 СССР, 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, Заире, 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 Заире, Нигерии, Бразилии.

Контрольные вопросы и задания

1. Где применяются тантал и ниобий?
2. Приведите данные о запасах и добыче этих металлов.
3. Какие минералы, типы руд и месторождений тантала и ниобия имеют промышленное значение?

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

Ду, 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.

Запасы и добыча. Мировые запасы редкоземельных элементов (без СССР) 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 монокситовые), так и попутно при переработке тантало-ниобиевых и урановых руд. Цена 1 т бастнезитового концентрата 660 дол., монацитового — 350 дол.

Геохимия и минералогия. Среднее суммарное содержание всей группы редких земель в земной коре около 0,01 %, содержание отдельных элементов варьирует от $2 \cdot 10^{-5}$ (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 $(Ce, Th)FO_4$ (до 70 % TR_2O_3), ксенотим YPO_4 (до 60 %), бастнезит $Ce(CO_3)F$ (65—75 %), паризит $Ce_2Ca(CO_3)_2F_2$ (46—60 %), лопарит $(Na, Ce, Ca)(Ti, Nb, Ta)O_3$ (31—35 %), фергусонит $Y(NbO_4)$ (30/45 %).

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). Магматические и пегматитовые месторождения кратко уже были рассмотрены (см. раздел «Тантал и ниобий»).

Гидротермальные плутоногенные месторождения пространственно и генетически связаны с массивами щелочных граносиенитов и приурочены к тектоническим нарушениям. Гудные 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 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.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте характеристику свойств и областей применения редкоземельных элементов.
2. Приведите данные о запасах и добыче этих элементов.
3. Какие минералы и типы месторождений редкоземельных элементов имеют промышленное значение?

Часть IV

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

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 т. д.), 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 и 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, цеолиты — 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), горнотехнологических условий разработки и переработки, требуется изучение значительного комплекса физико-механических, физико-химических и технологических свойств для сортификации сырья и установления для каждого сорта конкретных направлений промышленного использования.

Классификация неметаллических полезных ископаемых по принципу промышленного применения вследствие их разнообразия 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 настоящее время 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 хризотилловые 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 теплоизоляционных материалов — пемза, вулканические и известковые туфы, диатомиты, трепелы, опоки, перлит, вермикулит; строительный и облицовочный камень — изверженные, осадочные и метаморфические горные породы; сырье для получения вязущих 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 физическими 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 т. д.) формируются в эндогенных условиях. Для ряда неметаллических полезных ископаемых характерны месторождения промежуточного генезиса — магматогенно-метаморфогенные и магматогенно-седиментогенные.

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.

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 т. д.

Камнесамоцветное сырье в зависимости от показателей физических свойств, определяющих их 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 (I порядок); александрит (дихромирующий хризоберилл), 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, амethyst (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-кровавик, 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, брекчин.

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 дол. за карат (1 кар.=0,2 г) и стоимость их возрастает пропорционально квадрату массы. Драгоценные камни II порядка оцениваются в пределах 500—1200 дол/кар., III порядка — 50—300 дол/кар и IV порядка — 5—40 дол/кар. Стоимость ювелирно-поделочных камней I порядка варьирует от 30—150 до 1000 дол/кг, II порядка от 5 до 15 дол/кг, а поделочных камней не превышает 1,5 дол/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 26 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 %. СССР принадлежат крупные и ценные исторические бриллианты «Орлов» (194,8 кар.) и «Шах» (88,7 кар.). Наиболее крупными ювелирными алмазами, найденными в СССР, 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), механи-

ческой прочностью и вязкостью (агат, нефрит), пьезоэлектрическими свойствами (кварц, турмалин), способные образовать 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 измерительных 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 дол/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; секрции; 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 — производят облагораживание природных камней различными методами — γ -облучением, пропиткой красителями, нагреванием и др. облагораживают и коллекционное сырье путем доращивания 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 СССР) составляют более 2000 млн. кар., в том числе 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, Заир — 520, Ботсвана — 300, ЮАР — 250, Ангола — 60, Гана — 50, Индия и Индонезия — по 1,2—1,3.

Суммарная мировая добыча алмазов к настоящему времени (1987 г.) составила около 320 т. Ежегодная добыча (без СССР) достигла 55 млн. кар. По добыче технических алмазов первое место в мире принадлежит Заиру (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 Бирма, Таиланд, Кампучия, Шри-Ланка, Индия, Австралия, ЮАР, Танзания, Намибия, Замбия, Зимбабве, Кения, США, Мексика, Бразилия, Колумбия, Уругвай, Гайана. В добыче различных видов камнесамоцветного сырья важная роль принадлежит следующим странам: изумруд — Колумбия, Бразилия, ЮАР, Замбия, Зимбабве, Индия; сапфир — Таиланд, Кампучия, Австралия; рубин — Бирма, Кения; аметист — Бразилия, США, Франция, ГДР; турмалин — США, Мозамбик, Шри-Ланка, Бирма, Бразилия; топаз — Нигерия, Бразилия, США; хризолит — США, ЮАР; пироп — СССР, ЮАР, Бразилия, Мадагаскар; благородная шпинель — Шри-Ланка, Бирма, Бразилия; цитрин — Бразилия, США, КНР; малахит — Заир, Замбия, США. В СССР известны месторождения изумруда, аквамарина, 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 трубок 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. 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.

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 СССР на Украине, Урале, в Казахстане, а за рубежом — в Афганистане, США, на Мадагаскаре.

Гидротермальные месторождения служат источником аквамарина, топаза, горного хрусталя и его окрашенных разновид-

ностей — цитрина, мориона, амethysta (Урал). Низкотемпературные гидротермальные вулканогенные месторождения агата и халцедона связаны с эффузивными образованиями (порфиры, андезиты, кислые эффузивы). Крупные месторождения агата этого типа расположены в СССР 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 контакте гранитоидов и ультраосновных пород), лазурита (Забайкалье, Памир, Афганистан — на контакте карбонатных пород с дайками кислых пород и гнейсами), благородной шпинели и рубина (Бирма, Таиланд, Шри-Ланка — магнезиальные 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 в СССР 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 (Малоседельниковское и Кургановское) и в Средней Азии, а за рубежом — в Австралии, Испании, Великобритании, США, Мексике, на Мадагаскаре.

При средне- и высокотемпературном метаморфизме формируются слюдистые и кристаллические сланцы, гнейсы, которые содержат ювелирные разновидности алмандина (месторождение Кительское 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, аме-

тиста, агата. Месторождения этого типа широко распространены в странах тропического пояса — Индии, Шри-Ланке, Бирме, Таиланде, Танзании, Австралии и др.

Инфильтрационные месторождения выветривания служат источником опала, хризопраза, малахита, бирюзы, селенита (волокнистого гипса). Месторождения благородного опала возникают 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), Заира 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 СССР, Иран, США). Месторождения бирюзы могут быть приурочены к осадочным фосфоритоносным породам (Кызылкумы в СССР).

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 шпатель (Таиланд, Австралия, Шри-Ланка), а также янтарь (СССР). Они играют значительную роль в добыче топаза, изумруда, горного хрусталя (Бразилия, Мадагаскар), агата (Бразилия, Уругвай, Индия), нефрита (Канада, СССР) и ряда других камней.

Алмазоносные россыпи по происхождению разделяются на элювиальные и делювиальные (в коре выветривания), пролювиальные, аллювиальные, прибрежно-морские и эоловые. Наибольшее практическое значение для алмаза имеют аллювиаль-

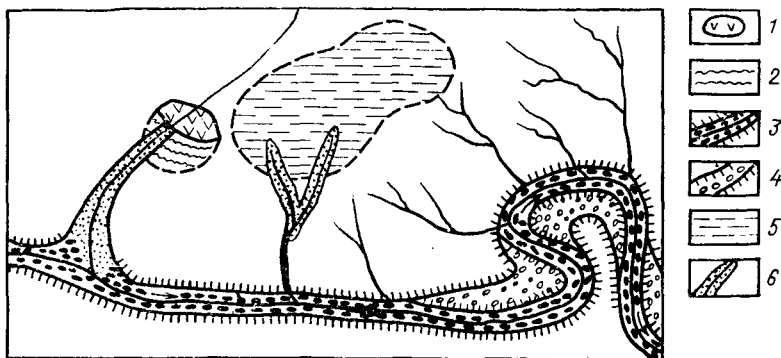


Рис. 50. Схема расположения алмазоносных россыпей различных типов в плане (по А. П. Бурову):

1—6 — россыпи: 1 — элювиальные, 2 — делювиальные, 3—4 — аллювиальные (3 — долинные, 4 — террасовые), 5 — пролювиальные, 6 — ложковые

ные и прибрежно-морские россыпи, которые разрабатываются открытым способом при бортовых содержаниях 0,1—0,2 кар/м³. Во многих россыпях концентрации алмазов превышают десятки каратов на 1 м³ рыхлой породы.

Аллювиальные 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 (рис. 50). Нередко через ложковые и делювиальные россыпи они связаны с коренным источником. Аллювиальные россыпи известны в СССР (бассейн р. Вилуй), ЮАР, Намибии, Гане, Анголе, Сьерра-Леоне, Индии, КНР, Бразилии, Венесуэле, Гайане, Австралии.

Прибрежно-морские россыпи (пляжевые, 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.

Контрольные вопросы и задания

1. Как классифицируются драгоценные, поделочные и технические камни? Какие показатели определяют их качество?
2. Что такое декоративный коллекционный материал?
3. Приведите данные о запасах и добыче алмазов и других видов драгоценных и поделочных камней.

4. Расскажите о морфологии и условиях залегания кимберлитовых алмазоносных месторождений.

5. Какими особенностями геологического строения и вещественного состава характеризуются эндогенные месторождения драгоценных и поделочных камней?

6. Назовите основные особенности морфологии, условий залегания и вещественного состава экзогенных месторождений драгоценных и поделочных камней.

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 °С), 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 т. д. 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, Южная 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 СССР, КНР, Южной Корее, КНДР, Мексике, Австрии, Индии, Шри-Ланке, ФРГ, Бразилии.

На международном рынке цена 1 т чешуйчатого графита достигает 600 дол., аморфного — 140 дол.

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 и известны в СССР (Ботогольское в Восточной Сибири, Черемшанское и Миасское на Урале), США (Клей), Таиланде, ФРГ, 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 СССР, Бразилии, Индии, Канаде.

Метаморфогенные месторождения занимают ведущее место в запасах и добыче графита. Они формировались за счет концентрированного или рассеянного углеродного вещества, подвергшегося метаморфизму, и разделяются на два типа: контактово-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 являются Ногинское и Курейское (Восточная Сибирь), Боевское (Урал), Аягузская группа (Казахстан). За рубежом подобного типа месторождения разрабатываются в Мексике, Южной Корее, Австрии.

Курейское месторождение (см. рис. 19) 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 обработки, имеет сложное строение — в нем наблюдаются слои графита различного качества. Содержание минеральных примесей в руде составляет 7—25 %.

Метаморфические месторождения, проуроченные к графитоносным гнейсам и кристаллическим сланцам, являются основ-

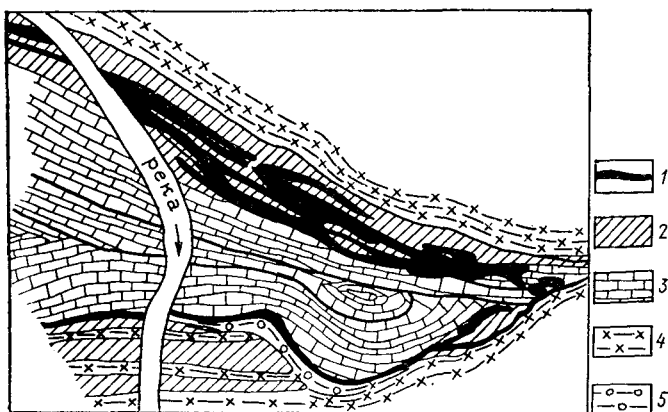


Рис. 51. Схематическая геологическая карта Завальевского месторождения (по А. Е. Еванциву):

1—2 — гнейсы: 1 — графитовые, 2 — безрудные; 3 — кристаллические известняки; 4 — граниты; 5 — мигматиты

ным 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 СССР (Завальевское на Украине, Тайгинское на Урале и Безымянное в Восточной Сибири), а за рубежом — в Индии, Мадагаскаре, ФРГ.

Завальевское месторождение (рис. 51) размещается в пределах крупной синклинали 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 %.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие свойства графита определяют направления его промышленного использования?
2. Как распределены по странам запасы и добыча графита?
3. Дайте сравнительную характеристику геологических условий магматических и метаморфогенных месторождений графита. Приведите примеры.

СЛЮДЫ

Общие сведения

Из группы листовых алюмосиликатов, относимых к слюдам, промышленное значение имеют мусковит $\text{KAl}_2(\text{OH})_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}]$, флогопит $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH}, \text{F})_2$ и вермикулит $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})_3[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Использование слюд в промышленности обусловлено их специфическими физическими свойствами: способностью расщепляться на тонкие, гибкие и прочные прозрачные пластинки, влагостойкостью, химической и термической стойкостью, высокими электронизоляционными 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 температуре 900—1000 °C) с увеличением объема в 20—30 раз. Обожженный вермикулит характеризуется малой объемной массой, повышенной огнеупорностью, высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами. Благодаря названным свойствам вермикулит используется в качестве легкого наполнителя в производстве бетона, огнестойких, тепло- и звукоизоляционных стен и перегородок.

Сырьем для промышленности служит листовая, а также мелкочешуйчатая и молотая слюда. При оценке качества мусковита и флогопита ведущими показателями являются размер кристаллов, наличие дефектов (трещиноватость, минеральные включения и т. д.), особенности химического состава. Для вермикулита к главным показателям качества относится объемная масса прокаленного минерала, тогда как размер кристаллов значения не имеет.

При производстве листовой слюды получают забойный сырец — кристаллы с площадью пластин более 4 см², из которых затем выделяют промышленный сырец — отсортированные бездефектные сколотые по спайности кристаллы, которые делятся на четыре сорта в зависимости от размера пластин (в см²): 4—25, 25—50, 50—100, более 100. Кондиции по содержанию промышленного сырца составляют в среднем для мусковита первые десятки, для флогопита — десятки и сотни килограммов на 1 м³ горной массы. Крупными считаются месторождения с запасами (в тыс. т) слюды более 10, средними — от 1 до 10, мелкими — менее 1.

Запасы листовой слюды в капиталистических и развивающихся странах могут быть названы только ориентировочно. 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, примерно столько же насчитывается и в остальных странах.

Мировая добыча (без социалистических стран) листового мусковита и флогопита составляет 13—15 тыс. т в год, а учетом мелкочешуйчатой и молотой слюды — 160—180 тыс. т. Основную часть листового мусковита получают в Индии, Бразилии, ЮАР, Аргентине, а мелкочешуйчатого — в США и Индии. Флогопит добывается в Канаде, Мадагаскаре, КНДР. Мировое производство вермикулита превышает 300 тыс. т (США, ЮАР). СССР занимает первое место в мире по запасам слюд.

Цены на слюду на мировом рынке колеблются в широких пределах. В настоящее время стоимость 1 кг листовой слюды в блоках варьирует от 1 до 4 дол.

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, жилообразные тела в оливиновых и пироксеновых породах. Месторождения данного типа известны в СССР в Восточной Сибири, на Кольском полуострове (Ковдорское), а за рубежом — в ЮАР (Палабора).

Ковдорское месторождение 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. 31). Крупнейшие запасы вермикулита сосредоточены в коре выветривания месторождения.

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 несколько 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

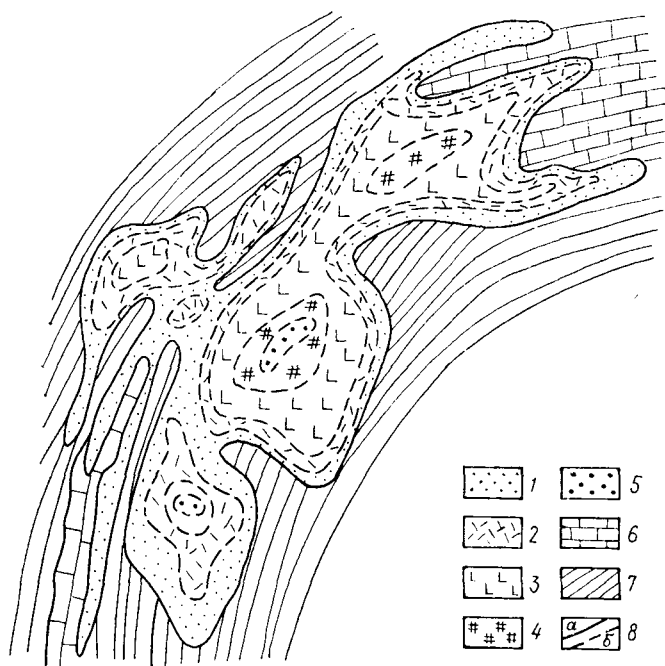


Рис. 52. Схематическая геологическая карта пегматитовой жилы (по А. Г. Бушеву и О. В. Казадаевой):

1—3 — пегматит: 1 — мелкозернистый гранитовидный, 2 — крупнозернистый, 3 — графический; 4 — блоковый плагиоклаз; 5 — кварцевое ядро; 6 — известково-силикатные кристаллические породы (скарноиды); 7 — биотитовые гнейсы; 8 — контакты пегматитового тела (а) и границы минеральных зон (б)

типа находятся в СССР в Восточной Сибири (Мамско-Чуйский район), Карелии (Чупино-Лоухская группа), на Кольском полуострове (Енское, Стрельнинское), а за рубежом — в Индии, Бразилии, ЮАР, Австралии.

Мамско-Чуйская группа мусковитовых гранитных пегматитов приурочена к толще дислоцированных метаморфических пород, формирующих крупный асимметричный синклиниорий. Пегматитовые тела имеют форму штоков, секущих жил, трубообразных и межпластовых залежей (рис. 52). Мощность жил 1—10 м и более. Промышленная мусковитоносность отмечается только в 5—10 % пегматитовых жил. Пегматиты сложены кварцем, микроклином, плагиоклазом, мусковитом, присутствуют биотит и альбит.

Контрольные вопросы и задания

1. В каких областях промышленности применяются минералы группы слюд?
2. Приведите данные о запасах и добыче мусковита и флогопита.
3. Дайте характеристику геологического строения и вещественного состава карбонатитовых месторождений флогопита.
4. Каковы особенности морфологии, условий залегания и состава пегматитовых месторождений мусковита?

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 $(\text{Mg}, \text{Fe})_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$. Он обладает ярко выраженной волокнистой структурой и высокой прочностью волокон на разрыв. Теплостойкость 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, термозоляционных материалов, асблаты. 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 регламентируется 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. Запасы месторождений амфибол-асбестов примерно в 100 раз меньше.

Запасы асбеста в капиталистических и развивающихся странах составляют около 80 млн. т (в том числе 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 том числе в СССР — 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 дол. на 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. 53): 1) простые оторочен-

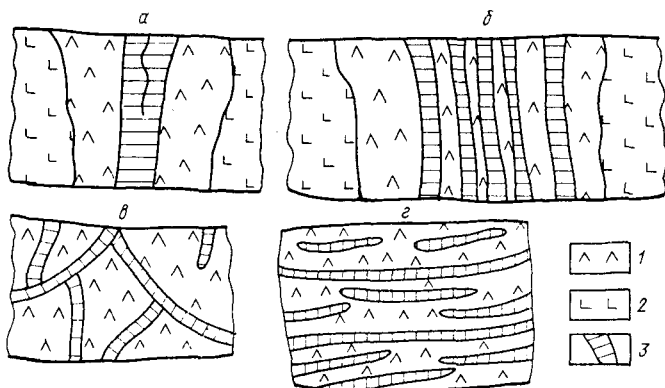


Рис. 53. Некоторые типы жил хризотил-асбеста:

а — простая отороченная (в центре жилы видна просечка), *б* — сложная отороченная, *в* — типа мелкой сетки, *г* — мелкопрожилные; 1 — гарцбургит; 2 — серпентинит; 3 — хризотил-асбест

ные 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) мелкопрожилные с коротким волокном, количество которого варьирует от 1 до 10 %.

Примерами месторождений асбеста данного типа являются Баженовское, Алапаевское, Джетыгаринское (Урал), Актовракское (Тувинская АССР), Молодежное (Забайкалье). За рубежом подобные месторождения известны в Канаде (Джеффри, Блейк-Лейк), Зимбабве (Шабани, Машаба), ЮАР (Нью-Амиантус). Гидротермальные месторождения содержат 95,5 % мировых запасов и обеспечивают 95 % добычи товарного асбеста.

Баженовское месторождение хризотил-асбеста приурочено к массиву ультраосновных пород, с лежащего бока к которому примыкают гранитоиды (рис. 54). Материнские породы серпентинизированы, особенно интенсивно вблизи разломов. Форма промышленных залежей эллипсоидальная, штоко- и линзообразная. Мощность их 20—200 м, длина по простиранию — 200—1100 м. Залежи характеризуются зональным строением. Руды поперечно-волокнистые, реже — продольно-волокнистые, а также асбестмассы. Волокна имеют различную длину — обычно 2—10 мм, редко до 50—60 мм. Содержание длинных волокон 0,5—4 %, коротких — 2—3 %.

Скарновым месторождениям в магнезальных карбонатных породах (магнезитах и доломитах) свойственны относительно небольшие запасы волокна. Асбест поперечно-волокнистый,

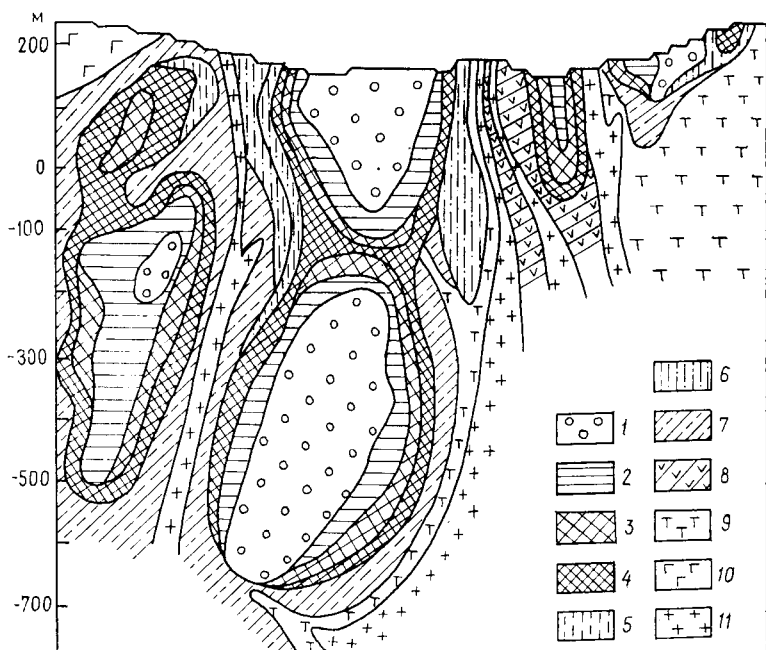


Рис. 54. Геологический разрез Центрального участка Баженовского месторождения (по И. Ф. Романовичу и др.):

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 мелкопрожилом, 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

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 СССР в Сибири (Аспагаш) и Киргизии (Укок), а за рубежом — в КНР, ЮАР, США, Канаде.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие свойства асбестовых минералов определяют их промышленное значение?
2. В каких странах сосредоточены запасы и добыча асбеста?
3. Дайте сравнительную характеристику геологического строения гидротермальных и скарновых месторождений хризотил-асбеста.

ТАЛЬК

Общие сведения

Тальк — гидросиликат магния 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 вместе 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 СССР, США, Японии, Южной Корее. В СССР около 72 % запасов талькового сырья содержится в четырех крупных месторождениях Сибири — Алгуйском, Киргитейском, Светлый Ключ и Онотском. Мировая добыча талька достигла 6 млн. т. Она ведется в Японии (2 млн. т), США (1 млн. т), СССР, а также в Южной Корее, КНР, Франции, Италии, Испании, Индии. Цена на тальк в зависимости от его качества изменяется от 3 до 110 дол. 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 процессе серпентинизации и хлоритизации пород и последующего их оталькования. Залежи тальцитов имеют линзо- и жиллообразную 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, Южной Кореи, Японии (пиррофиллит).

Киргитейское месторождение в Енисейском кряже приурочено к слабо метаморфизованной толще пород различного состава. Тела тальцитов тяготеют к меридиональной зоне разломов, проходящих вдоль оси синклинальной складки. Месторо-

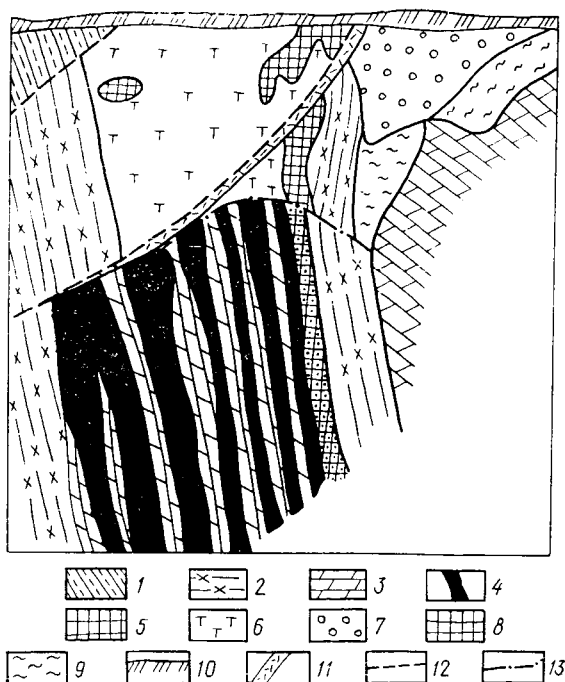


Рис. 55. Схематический геологический разрез Киргитейского месторождения (по А. В. Кириченко):

1—2 — сланцы: 1 — глинистые, 2 — хлоритовые; 3 — доломиты; 4 — плотные талькиты; 5 — кварциты; 6 — элювиальные порошковатые талькиты; 7 — бокситы; 8 — маршалиты; 9 — глины; 10 — делювиальные отложения; 11 — брекчированные породы; 12 — тектонические разрывные нарушения; 13 — нижняя граница коры выветривания

рождение 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. 55).

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, Южной Корее.

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.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие требования к качеству талькового сырья установлены промышленностью?

2. Каковы запасы и добыча талька и талькового камня в СССР и зарубежных странах?

3. Сравните геологические условия гидротермальных и метаморфических тальковых месторождений.

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 том числе 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 $6 \times 6 \times 6$ мм.

Общих требований к плавиковому 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 более бедными 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 капиталистических и развивающихся 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. СССР располагает надежной сырьевой базой флюорита и постоянно наращивает его добычу. Цена флюорита на мировом рынке варьирует от 100 до 170 дол. за 1 т.

Типы промышленных месторождений

Флюорит образуется в различных геологических условиях. Практически значимыми являются пегматитовые (оптический флюорит), гидротермальные и отчасти осадочные месторождения. В несоциалистических 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, Аурахматское, Такобское и Хайдаркан в Средней Азии. За рубежом подобные месторождения известны в США, Мексике, Канаде, Испании, Франции, Италии.

Калангуйское месторождение расположено в песчанниках, углистых и глинистых сланцах. Гранитоидные интрузии, считающиеся материнскими, находятся в 1—2 км к северу и вос-

току 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 %.

Контрольные вопросы и задания

1. В каких областях промышленности применяется флюорит?
2. Как распределены по странам его запасы и добыча?
3. Дайте характеристику геологического строения и вещественного состава гидротермальных месторождений флюорита.

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 магнезиального цемента, применяемого при производстве различных строительных, отделочных, термо- и звукоизоляционных материалов, огнеупорных 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 бруситита 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. За рубежом крупные жильные месторождения аморфного магнезита отрабатываются подземным способом. Брусит добывается в СССР, США и Канаде. Мировая (без СССР) добыча магнезита превысила 8 млн. т. Основной объем ее приходится на КНДР, Грецию, КНР, Австрию, ЧССР, США,

Бразилию, Турцию и СФРЮ. СССР занимает ведущее место по запасам и добыче магнезита. Цены на металлургический магнезитовый порошок и магнезитовые огнеупорные изделия составляют 10—60 дол. за 1 т.

Типы промышленных месторождений

Промышленные месторождения магнезита и бруситита 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 магнезита, содержат доломит, кальцит, кварц, 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), за рубежом — Австрии, Испании, КНР.

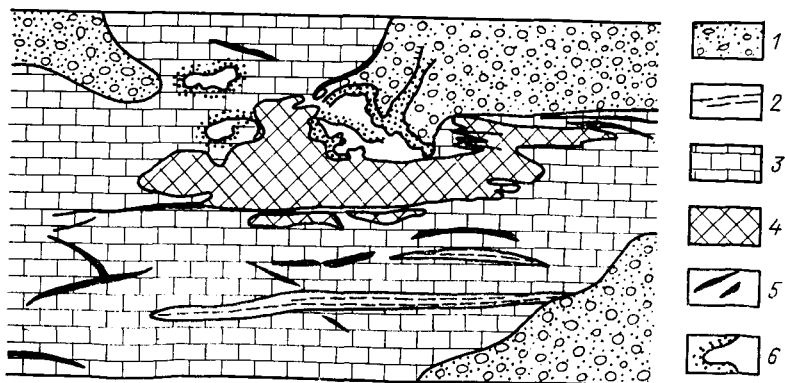


Рис. 56. Геологическая карта Саткинского месторождения магнезита Гора Карагай (по М. И. Гарань):

1 — наносы; 2 — мергелистый доломит; 3 — доломит; 4 — магнезит; 5 — диабаз; 6 — отвалы

Саткинское месторождение (группа из 14 месторождений) локализуется в доломитовой толще мощностью до 500 м, прорванной дайками диабазов (рис. 56). 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, а за рубежом — в СФРЮ и Греции.

Контрольные вопросы и задания

1. Каковы основные направления промышленного использования магнетита и брусита?
2. Какими показателями определяются требования промышленности к данному виду минерального сырья?
3. Какие страны являются основными поставщиками магнетита и брусита?
4. Охарактеризуйте особенности геологического строения и вещественного состава гидротермальных месторождений магнетита.

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 каркаснополостную 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 сточных 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 произведен только в отдельных странах и по отдельным месторождениям, однако считают, что их мировые запасы практически не ограничены. В СССР известно более 60 месторождений с запасами цеолитов (клиноптилолита, морденита и филлипсита) свыше 3,5 млрд. т. Крупными запасами обладают США, Япония, Италия. Добыча цеолитов в капиталистических странах в настоящее время составляет более 1 млн. т (в 1965 г. — 13 тыс. т). В СССР 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 дол. за 1 т.

Типы промышленных месторождений

Цеолиты являются основными породообразующими 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 цеолитсодержащие отложения содовых озер, формировавшиеся в ходе гидротермальных вулканогенных и вулканогенно-осадочных процессов.

Гидротермальные вулканогенные месторождения пространственно и генетически связаны с андезит-дацитовым вулканиз-

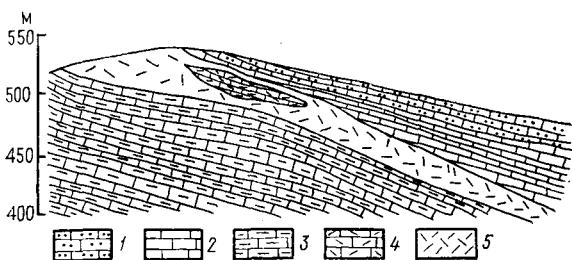


Рис. 57. Схематический геологический разрез участка Айдагского месторождения (по А. И. Кулиеву):

1—4 — известняки: 1—2 — кампан-маастрихтские (1 — плитчатые светло-серые, 2 — серые песчаные), 3 — верхнесантонские белые, 4 — с туфогенным материалом; 5 — белые цеолитизированные туфы (собственно Айдагский пласт)

мом 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 СССР наиболее крупные месторождения клиноптилолита и морденита второго подтипа находятся в Закарпатье (Крайнинское, Сокирница, Водица), 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, СФРЮ, СРР, НРБ.

На *Айдагском месторождении* (рис. 57) 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.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие свойства обуславливают направления промышленного использования цеолитов, какими особенностями строения данной группы минералов определяются эти свойства?

2. В каких отраслях промышленности и сельского хозяйства применяются цеолиты?

3. Назовите главные генетические типы промышленных месторождений цеолитов, охарактеризуйте особенности их строения и состава. Приведите примеры.

МИНЕРАЛЬНЫЕ СОЛИ

Общие сведения

Минеральными солями называют воднорастворимые 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 $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 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 $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$, 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 кондиции 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 хлори-

стого магния 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 СССР, КНР, США, Великобритании, ФРГ, Индии, ПНР, ГДР. Мировые ресурсы калийных солей достигают 67 млрд. т (в пересчете на K_2O), подтвержденные запасы — 5,3 млрд. т. Основные месторождения расположены в СССР, Канаде, ГДР, ФРГ, Израиле, Иордании и США. Мировая добыча калийных солей составляет более 100 млн. т и в наибольшем объеме ведется в СССР, Канаде, ФРГ, ГДР, 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 дол.

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 мульдообразным залеганием; 2) пластовые складчатые; 3) солянокупольные и диапировые (соляные штоки). Месторождения первых двух типов характеризуются слоистым внутренним строением, пластовой и линзовидной формой залежей. К пластовым ненарушенным относятся Славяно-Артемовский, Ангари-Ленский, Белорусский (Старобинский), Припятский и Верхнекамский бассейны в СССР, Страсбургский (ГДР, ФРГ) 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 брахиантиклиналей. 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 км², глубина их залегания — от нескольких сотен метров до 2 км. Месторождения этого типа распространены в Волго-Урало-Эмбенском районе (Илецкое), на Украине, в Вилуйской впадине (Кемпендяйское), а за рубежом — в США (штаты Техас и Луизиана), СРР, ПНР, Иране.

Верхнекамское месторождение на Урале связано с мощной толщей осадочных пород пермского возраста (см. рис. 28). 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, иод, 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 солоноводными 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.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое минеральные соли? Назовите главные промышленные минералы данного вида минерального сырья.
2. Каковы основные направления промышленного использования каменных и калийных солей?
3. Как оцениваются мировые запасы и добыча каменных и калийных солей? Какие страны являются основными поставщиками данного вида минерального сырья?
4. На какие группы делятся месторождения ископаемых солей по особенностям тектонической структуры и условиям залегания? Приведите примеры месторождений каждой из этих групп в СССР и за рубежом.
5. Что представляют собой современные соляные месторождения, где они распространены?

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 гидроксил-apatиты. 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 каменные. 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 в капиталистических и развивающихся странах 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 СССР запасы фосфатного сырья составляют около 15 млрд. т, в том числе 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 до-

бывающими 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 дол.

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 габбро-сиенитовым интрузивным массивам платформенных щитов. Апатит как пороодообразующий минерал относительно равномерно распределен в материнских интрузивах, но содержание его незначительно (2—4 % P_2O_5). Примером является Ошурковское месторождение в Бурятской АССР.

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 в СССР на Кольском полуострове (месторождения Хибинского массива — Кукисвумчорр, Юкспор, Апатитовый цирк, плато Расвумчорр, Коашва), а за рубежом — 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. 58). 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 %.

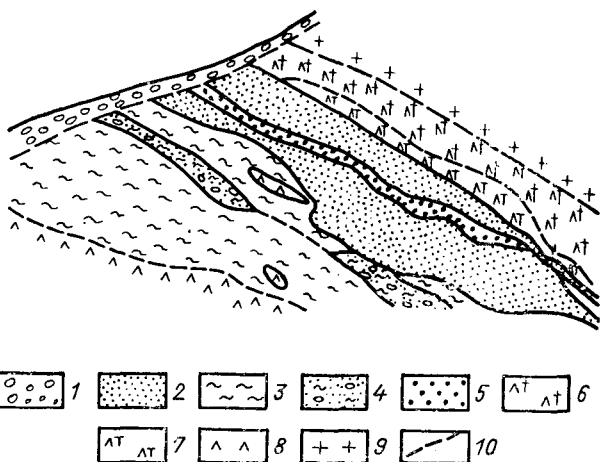


Рис. 58. Геологический разрез месторождения Кукисвумчорр (по Г. М. Вировлянскому и др.):

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 — рихчоррит; 10 — магматические контакты (сплошные линии на контакте пород — послеапатитовые тектонические разломы)

Апатит-магнетитовые месторождения связаны с габбро-сиенитовыми габбро-пироксенит-дунитовыми и габбро-анортозитовыми магматическими комплексами. Руды комплексные (с магнетитом, титаномагнетитом). В качестве примеров месторождений этого типа можно назвать Волковское на Урале, а за рубежом — Кирунавара в Швеции.

Карбонатитовые месторождения, являющиеся по генезису поздне-магматическими, представлены комплексными рудами: апатит-магнетитовыми, апатит-флогопитовыми, апатит-редкометальными. Месторождения приурочены к массивам ультраосновных щелочных пород. В СССР к данному типу относятся Ковдорское (Кольский полуостров) и Больше-Саянское (Сибирь). За рубежом 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 СССР в Казахстане (Каратауское), за рубежом — в МНР, Австралии, США.

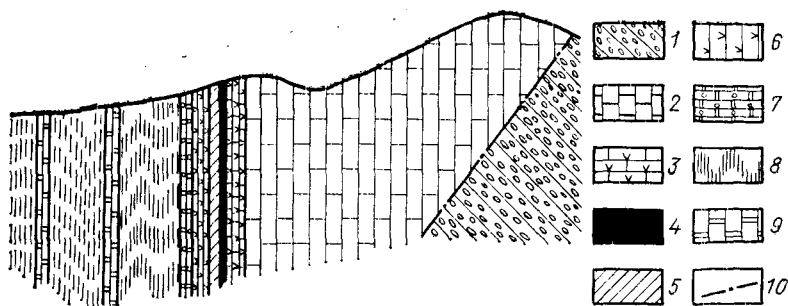


Рис. 59. Геологический разрез центральной части фосфоритового месторождения Чулактау (по Б. М. Гиммельфарду и А. С. Соколову):

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 — кремневая), 7 — горизонт «нижних доломитов»; 8—9 — нижнекембрийские отложения: 8 — кремнистые породы, 9 — первый и второй горизонты доломитов; 10 — разрывные нарушения

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. 59). 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. В СССР к крупным по запасам относятся Волжский, Днепровско-Донецкий и Актюбинский фосфоритовые бассейны. За рубежом 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.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие виды минеральных образований служат фосфатным сырьем и в каких отраслях промышленности они применяются?

2. Назовите основные промышленные типы руд, используемых в качестве фосфатного сырья и промышленные кондиции на них.

3. Чему равны запасы фосфатного сырья в СССР, капиталистических и развивающихся странах? В каких зарубежных странах расположены крупнейшие месторождения?

4. Дайте характеристику апатитовых месторождений магматического генезиса. Приведите примеры.

5. Сравните особенности геологического строения платформенных и геосинклинальных осадочных месторождений фосфоритов. Приведите примеры.

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. Серу 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. 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 в капиталистических и развивающихся странах 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. В капиталистических и развивающихся странах 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 дол. 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 СССР относятся месторождения Камчатки, Курильских островов, Закавказья (Гюмюр), а за рубежом — Японии (Мацуо, Адзума), Чили (Копиано), Перу, Филиппин.

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 кальцитовых 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 месторождения отличаются от пластообразных морфологией и меньшими размерами залежей.

Осадочные месторождения заключают около 80 % мировых запасов и обеспечивают 95 % добычи самородной серы. Сингенетические месторождения (Туркмения, Поволжье в СССР,

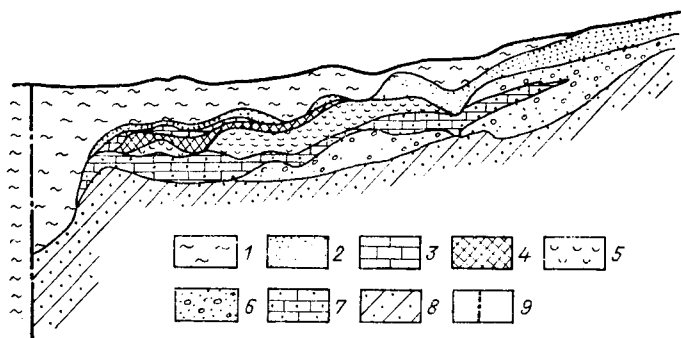


Рис. 60. Геологический разрез Язовского месторождения (по И. И. Алексеевко):

1—2 — нижнесарматский подъярус, косовская свита: 1 — глины известковистые, 2 — песчаники кварцевые; 3—5 — днестровский 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

Ливия, Австралия) не имеют промышленного значения. Крупные эпигенетические месторождения находятся в Прикарпатье (Роздольское, Язовское), Поволжье (Водинское, Алексеевское), в Средней Азии (Гаурдак). За рубежом они известны в ПНР, Мексике, Италии, Испании, Франции, Ираке.

Язовское месторождение представлено сложной пластообразной залежью, которая разбита многочисленными разрывными нарушениями (рис. 60). 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 %.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите главные формы нахождения серы в земной коре. Какие из них имеют основное промышленное значение?
2. Какие отрасли промышленности и сельского хозяйства являются основными потребителями серы?
3. Каковы масштабы месторождений самородной серы, какими способами они разрабатываются?
4. В каких капиталистических и развивающихся странах сосредоточены основные запасы самородной серы, какова величина этих запасов?
5. Назовите и коротко охарактеризуйте основные генетические типы промышленных месторождений самородной серы. Приведите примеры.

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 с объемной насыпной массой не более 1200 кг/м^3 при крупности зерен до 5 мм и не более 1000 г/м^3 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 объемная масса (от $0,43\text{—}0,96 \text{ т/м}^3$ у диатомита до $1,04\text{—}1,80 \text{ т/м}^3$ у опок), хорошие звуко- и теплоизоляционные свойства, химическая устойчивость, абразивность. Прочность (в МПа) диатомитов 50—300, 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 т. д. В зависимости от направления использования к кремнистым породам предъявляются различные требования в отношении содержания кремнезема, примесей песка, оксидов железа, влажности, объемной массы. 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 СССР (2,5 млрд. т), США, Дании, Франции и ряде других стран. Добыча в капиталистических и развивающихся странах — США, Дании, Франции, ФРГ, Мексике, Перу, Бразилии и др. превышает 1,6 млн. т. В СССР только для цементной промышленности получают 7 млн. т кремнистых пород. Цена их (в полуфабрикатах) колеблется от 2 до 21 дол. 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 СССР районами развития пластовых залежей кремнистых пород являются Среднее Поволжье (Инзенское, Сengилеевское, Вольское), восточный склон Урала и Зауралье (Потанинское, Ирбитское, Камышловское), центральные области европейской части страны (Зикеевское, Фокинское), Белоруссия, Северный Кавказ и Закавказье. За рубежом крупнейшие месторождения известны в США, Франции, ФРГ, Испании, Алжире, Австралии.

Контрольные вопросы и задания

1. Какими специфическими свойствами кремнистых пород обусловлено их промышленное использование? Укажите основные области их применения.
2. Каковы запасы и добыча кремнистых пород в СССР и за рубежом?
3. Сравните морские и озерные осадочные месторождения кремнистых пород. Приведите примеры.

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 и используемый после дальнейшей обработки в качестве облицовочного (декоративного), дорожного (бортового, 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 полу-

чают 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 (стенные 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;

6) 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 объемную массу и плотность, пористость и трещиноватость, водопоглощение, водонасыщение, вязкость, обрабатываемость, полируемость, устойчивость окраски, теплоизоляционные свойства и др.

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 СССР 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. Общесоюзная добыча строительного камня превышает 500 млн. м³.

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. Здесь развиты 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, Артиксское); 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 СССР (Коробчеевское), Крыму (Бнюк-Янкойское), Закавказье (Давадинское).

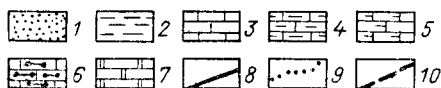
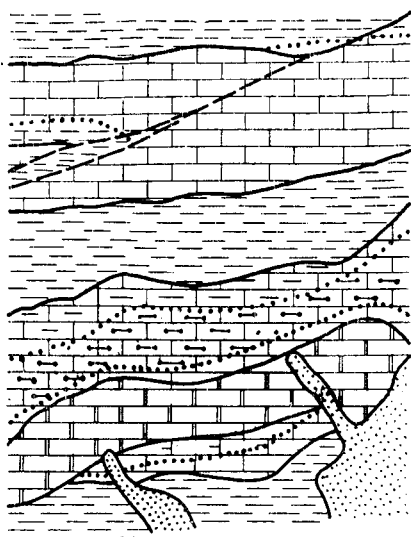


Рис. 61. Схематическая геологическая карта левобережной части Кибик-Кордонского месторождения мрамора (по В. С. Васильеву):

1 — четвертичные отложения (суглинки, галечники, пески); 2 — метаморфические сланцы джебашской серии протерозоя; 3-7 — мраморы: 3-5 — белые (3 — мелкозернистые, 4 — полосчатые, 5 — среднезернистые), 6 — розовые, 7 — серые; 8-9 — геологические границы: 8 — установленные, 9 — условные; 10 — разрывные нарушения

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, Белокоровичи), Урале (Машакское). Месторождения мрамора широко распространены в Карелии (Киви-Шурья, Белая Гора) на Украине (Требушанское, Кругловское), в Закавказье (Молитское, Дезское, Годокское, Лопотское), на Урале (Уфалейское, Прохорово-Баландинское, Нижне-Тагильское) в Средней Азии и Казахстане (Газганское, Аркутсайское, Каратау), Сибири (Кибик-Кордонское, Базаихское, Буровщина).

Кибик-Кордонское месторождение в Красноярском крае сложено мета-

морфическими 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 °С (рис. 61). На разведанном левобережном участке месторождения выявлено два пласта мраморов: 1) белых и светло-кремовых (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.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие виды горных пород используются в качестве естественных строительных материалов? Укажите главные направления их промышленного применения.

2. Назовите важнейшие свойства горных пород, определяющих их использование в качестве естественных строительных материалов, требования промышленности к ним.

3. Приведите примеры наиболее крупных месторождений магматических, осадочных и метаморфических пород в СССР.

КАРБОНАТНЫЕ ПОРОДЫ

Общие сведения

Карбонатные породы рассматриваются в данном разделе как сырье для производства вяжущих материалов. К этой группе относятся известняки, мел, мергели, доломиты и их разновидности. Применение карбонатного сырья в различных отраслях народного хозяйства определяется его химическим составом и физико-техническими свойствами. Во всех случаях предпочтение отдается чистому карбонатному сырью, имеющему однородный, выдержанный литологический и химический состав и постоянные свойства.

В цементной промышленности используются известняки, мел и мергель. Основной показатель их пригодности — химический состав; он должен быть таким, чтобы при смешивании этих пород с глинистыми (а в мергелях-натуралах и без них) в шихте и клинкере (обоженная сырьевая смесь) достигались требуемые значения коэффициента насыщения K_n силикатного M_s и глиноземного M_A модулей*. В карбонатных породах не должно быть включений крупнокристаллического кальцита, кварца и кремнистых стяжений, затрудняющих помол.

Вредными примесями являются оксид магния, щелочи, сера, фосфор и титан. Кондиционными считаются маломagneзиальные карбонатные породы, содержащие не менее 40 % CaO и не более 3,5 % MgO. Для получения клинкера с оптимальными значениями K_n (0,92), M_s (2,50) и M_A (1,2) и общим количеством вредных примесей 3,3 % сырьевая смесь из карбонатных и глинистых пород должна содержать (в %): CaO 42,2; SiO₂ 14,1; Al₂O₃ 3,1; Fe₂O₃ 1,6. На 1 т клинкера расходуется около 1,4 т известняка или 1,6 т мела, или 1,8 т мергеля. Для производства белого и цветных цементов в карбонатном сырье лимитируется количество красящих оксидов железа (до 0,15—0,35 %) и марганца (0,015—0,04 %), а также содержание CaO (не менее 50—54 %).

ГОСТов на цементное сырье не существует — его качество оценивается на основании установленных практикой технических требований. Как уже отмечалось, нормируется в основном содержание химических компонентов.

* $K_n = [\text{CaO} - (1,65\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,35\text{Fe}_2\text{O}_3 + 0,7\text{SO}_3)]/2,8\text{SiO}_2$ (от 0,8 до 0,92).
 $M_s = \text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ (от 1,2 до 3,5). $M_A = \text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ (от 1,0 до 2,5).

В результате помола клинкера получают гидравлическое вяжущее вещество — портландцемент. Он применяется для изготовления бетонов. Качество портландцементов характеризуется их маркой. Марки изменяются от «300» до «700» и соответствуют пределу прочности бетонов на сжатие (в МПа).

Для производства строительной извести пригодны известняки и мел, реже используются их доломитизированные разновидности. Химический состав этих пород регламентируется ОСТом. Расход сырья на 1 т извести равен 1,8—2 т. В металлургической промышленности чистые карбонатные породы применяются главным образом как флюсы, способствующие переводу в шлак пустых пород и вредных примесей. Флюсовые известняки должны содержать не менее 50 % CaO , не более 3 % полуторных оксидов, минимальное количество серы и фосфора.

В цветной металлургии известняк служит не только флюсом при плавке меди и окисленных никелевых руд, но и технологическим сырьем, а также сырьем для получения извести, применяемой при обогащении руд. Как технологическое сырье высококачественные известняки и мел используются при переработке нефелиновых руд для производства глинозема, цемента и соды. Для получения 1 т глинозема расходуется около 4 т нефелинового концентрата и 5—7 т известняка.

Чистые известняки применяются в химической промышленности для производства соды, карбида кальция, едких калия и натрия, хлора и др. Карбонатное сырье используется в стекольной, бумажной, лакокрасочной, резиновой, пищевой и других отраслях промышленности. В сельском хозяйстве известняки и мел служат для известкования подзолистых почв.

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 СССР запасы его превышают 20 млрд. т, из которых около 75 % сосредоточено в европейской части страны. Мировая добыча карбонатных пород составляет около 5 млрд. т и осуществляется в наибольших масштабах в СССР, США, Японии и ФРГ. Цена 1 т известняка варьирует от 1 до 3 дол.

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 том числе древних щитов со-

временных 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 СССР — на Западном Урале, в Кузбассе, на Алтае, в Крыму, на Кавказе (известняки), на Южном и Северном Урале, в 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 60—70 м, которая состоит из высококачественного природного цементного сырья.

Платформенные месторождения тяготеют к карбонатным, сульфатным, галогенным, терригенным, сланцевосным 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 разностей. Месторождения этого подтипа распространены в пределах Предуралья, 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.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие карбонатные породы используются как сырье для производства вяжущих материалов? В каких других отраслях народного хозяйства они применяются?

2. Какие показатели определяют возможности применения карбонатных пород в цементной промышленности?

3. Дайте сравнительную характеристику геосинклинальных, платформенных и переходных месторождений карбонатных пород. Приведите примеры.

ПЕСОК И ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Общие сведения

Песок, гравий и другие рыхлые обломочные породы (галечник, глыбово-щебеночный материал) состоят из несцементированных обломков и зерен различных минералов, обломков горных пород, имеющих различные формы, размеры и степень окатанности.

Применение песков и песчано-гравийных материалов в народном хозяйстве основано на разнообразных физических свойствах этих обломочных пород. Основная часть (в СССР 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 т. п.

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 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 с объемной массой 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 %, Fe_2O_3 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 том числе в США около 1 млрд. т, в СССР — 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 производится в карьерах гидромониторами или под водой плавающими 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), золотые, 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. Флювиогляциальные отложения являются полимиктовыми по составу, песчаными, песчано-гравийно-галечниковыми, грубосложенными, 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 СССР. 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 Часовъярское и Авдеевское (Донецкая обл.), Глебовское и Гусаровское (Харьковская обл.), Миллеровское (Ростовская обл.), Ташлинское (Ульяновская обл.), Латнинское (Воронежская обл.), Люберецкое (Московская обл.).

Контрольные вопросы и задания

1. В каких отраслях народного хозяйства используются пески и песчано-гравийные материалы?

2. Укажите показатели, которыми определяются ГОСТы на пески и песчано-гравийные материалы в зависимости от направления их промышленного использования.

3. Назовите и коротко охарактеризуйте главные генетические типы промышленных песчано-гравийных месторождений. Приведите примеры.

ГЛИНЫ И КАОЛИНЫ

Общие сведения

Глины — это тонкодисперсные горные породы, способные образовывать с водой пластичное тесто, при высыхании сохраняющее приданную ему форму, а после обжига получающее

твердость камня. К глинам относят также некоторые породы, не обладающие в естественном виде пластичностью и не размокающие в воде. К таким породам принадлежит группа аргиллитов. Особую группу представляют глинистые сланцы, сформировавшиеся из глин в результате метаморфизма.

В минеральный состав глин входят глинистые, акцессорные минералы и примеси. К глинистым минералам относятся различные водные силикаты глинозема. По кристаллической структуре и составу выделяют аллофановую, каолинитовую, монтмориллонитовую, гидрослюдистую и палыгорскитовую группы. Группа каолинита включает каолинит, диккит, накрит и галлуазит, а монтмориллонита — собственно монтмориллонит, нонтронит и бейделлит. Акцессорные минералы — турмалин, циркон, рутил, гранат, дистен — содержатся в глинах в незначительных количествах и на качество их не влияют. Среди минералов-примесей часто встречаются кварц, являющийся отоштителем, уменьшающим пластичность, усушку и связующую способность глин, а также гидроксиды и сульфиды железа.

При промышленном использовании глин учитываются следующие их свойства: пластичность, воздушная и огневая усадка, пористость, огнеупорность, спекание, гигроскопичность и набухание, адсорбционные свойства, связующая способность, вспучивание, гидрофильность. Перечисленные показатели зависят от степени дисперсности минерального состава, формы и характера поверхности зерен. Так, наивысшая пластичность свойственна наиболее тонкодисперсным монтмориллонитовым глинам, менее пластичны каолинитовые, гидрослюдистые и бейделлитовые породы. Наибольшим набуханием обладают монтмориллонитовые и бейделлитовые глины, наименьшим — каолинитовые. Наиболее огнеупорны каолиниты и каолинитсодержащие глины, к легкоплавким относятся монтмориллонитовые, бейделлитовые, гидрослюдистые и смешанного состава. Наиболее активными адсорбентами служат монтмориллонитовые и бейделлитовые глины.

С учетом свойств и состава глин, обуславливающих их использование, выделяют следующие группы: каолины; огнеупорные и тугоплавкие; высокосорбирующие (отбеливающие); легкоплавкие.

Главные потребители *каолина* — бумажная и керамическая промышленность, а также резиновая, мыловаренная, огнеупорная и химическая. *Огнеупорные и тугоплавкие глины* используются при производстве шамота (огнеупорный материал), сталеразливочного припаса, стеклоплавильных горшков, фаянсовых и фарфоровых изделий, в том числе керамической плитки, а также облицовочных блоков и дренажных труб.

Высокосорбирующие глины (бентонитовые, палыгорскитовые, сепиолитовые) применяются для очистки нефтепродуктов,

отработанного трансформаторного масла, вод от вредных элементов, при производстве железорудных окатышей, буровых промывочных жидкостей, характеризующихся устойчивостью против коагулирующего действия электролитов. В этой группе глин следует особо выделить бентониты — тонкодисперсные глины с высокой связующей способностью, адсорбционной и каталитической активностью, содержащие не менее 60 % минералов группы монтмориллонита.

Легкоплавкие глины входят в состав сырьевых смесей для получения керамзита и аглопирита (легких заполнителей бетона), кирпича, черепицы, цемента.

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 том числе 1,15 млрд. т в капиталистических и развивающихся странах), а добыча — 9 млн. т (в том числе в США — 4 млн. т, в СССР — 2,5 млн. т). Запасы каолинов в СССР 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 СССР превышают 650 млн. т, добыча — 2,25 млн. т. Цена 1 т каолина в зависимости от качества варьирует от 1 до 160 дол.

Типы промышленных месторождений

Среди месторождений глин наибольшее практическое значение имеют месторождения выветривания и осадочные.

Месторождения коры выветривания магматических, метаморфических, реже осадочных пород по составу разделяются на каолинитовые, галлуазитовые, гидрослюдистые 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 за рубежом — в КНР, Великобритании, ЧССР, ГДР, СФРЮ, Франции.

Осадочные месторождения возникают при переотложении и диагенезе продуктов размыва 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 простираанию они прослеживаются на несколько километров при мощности от нескольких метров до первых десятков метров. К этому типу относятся месторождения Донецкой (Часовъярско-Дружковская группа), Воронежской (Латнинское) и Новгородской (Боровичское, Любытинское) областей.

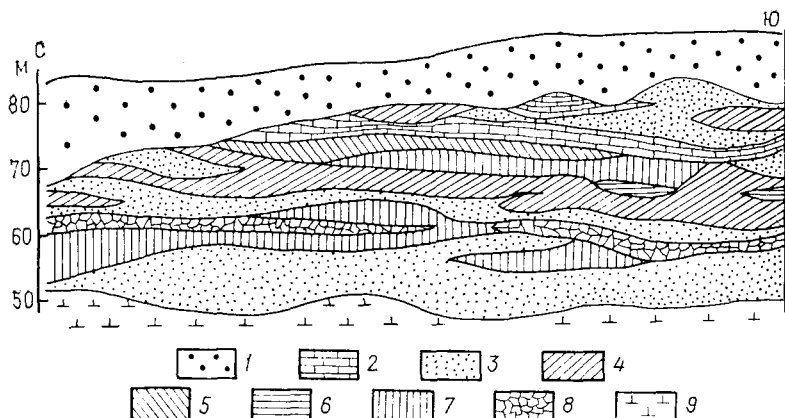


Рис. 62. Литологический разрез участка Большевик Боровичского месторождения огнеупорных глин (по М. Ф. Викуловой с упрощениями):

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

Боровичское месторождение огнеупорных глин (рис. 62) 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 (физической глины). По генезису месторождение является прибрежно-озерным.

Осадочные месторождения бентонитов заключают 50 % их запасов в СССР и обеспечивают 50 % добычи. Пластообразные залежи выдержаны по простиранию; они распространены на площади в десятки и сотни квадратных 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 за рубежом — в США.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое глины? Перечислите основные глинистые минералы. Какие глины называют каолинами?
2. Перечислите специфические свойства глин. Укажите основные направления их использования.
3. Какие генетические типы месторождений глин имеют основное промышленное значение? Дайте их краткую характеристику. Приведите примеры.

Часть V

ТВЕРДЫЕ ГОРЮЧИЕ ИСКОПАЕМЫЕ

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, коксо-химической 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 эффектив-

ного 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 пр.).

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 сухое вещество, горючую массу, органическое вещество и т. п. Следует помнить, что получение сравнимых показателей возможно лишь при постоянстве условий испытания, неизменности условий отбора, хранения и подготовки проб, определенности состояния испытуемого объекта и соблюдении 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, получаемыми 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, отгружается 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, S_t — сера общая) и верхнего индекса, уточняющего, к какому состоянию топлива относится данная величина. Состояние топлива обозначается следующими верхними индексами:

r — рабочее, *a* — аналитическое, *d* (англ. dry — сухой) — сухое, *daf* (англ. dry ashes free — сухой, свободный от золы) — сухое беззольное, *o* — органическое, *af* — (англ. ashes free — свободный от золы) — влажное беззольное. Условные обозначения отдельных показателей качества ископаемых углей таковы:

Массовая доля рабочей влаги, %	W_t^r
Зольность сухого топлива, %	A_d^d
Высшая удельная теплота сгорания по бомбе, кДж/кг	Q_s^{daf}
Низшая удельная теплота сгорания рабочего топлива, кДж/кг	Q_i^r
Выход летучих веществ из сухого беззольного топлива, %	V^{daf}
Массовая доля серы общей в сухом топливе, %	S_t^d
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_{sk}

Размолоспособность	Gr_{VTI}
Действительная плотность, г/см ³	d_r
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 торфяных 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} 0,1—1,5. Теплота сгорания торфа Q^r_i 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, лесо-топяной 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 удобрений 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 материала, особенностями эпохи и условий протекания первой (торфяной) стадии углеобразования и 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 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 ариднему 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 коламитов. Кордаиты, предшественники хвойных, особенно широко были распространены в пермском периоде. В мезозойское время в растительном мире преобладали хвойные, саговиковые и гинговые, 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.

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?

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), а также их разновидности. Для этого используют форму, размер и характер чередования отдельных линз и слоев 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 ме-

Т а б л и ц а 5. Составные части угля, визуально различимые в пластах

Литотип	Признаки выделения разновидностей литотипов	Участие в сложении угольных пластов
<i>Литотипы сложного состава</i>		
Блестящий — кларен Полублестящий — дюрено-кларен Полуматовый — кларено-дюрен Матовый — дюрен	Однородный, монолитный, землистый. Слоистый, линзовидно-слоистый (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
<i>Литотипы простого состава</i>		
Витрен	Монолитный, однородный	Широко встречается в пластах угля в виде прослоев и линз мощностью от 0,1 мм до 3 см
Фюзен	Волокнистый, сажистый, однородный, минерализованный	Слагает линзы мощностью от 0,1 до 3 мм, редко отдельные прослои в пластах угля

таморфизма, 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 — дюрен. 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-дюрен — по блеску занимают промежуточное положение между клареном и дюреном.

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. 6). 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 вит-

Т а б л и ц а 6. Классификация трещин в углях

Тип	Характер напряжения при разрыве	Основные факторы образования	Основное направление (относительно слоистости)	Форма	Характер поверхностей
Эндогенные	Растяжение	Метаморфизм	Перпендикулярное	С параллельными или смыкающимися ограничивающими поверхностями	Ровные, гладкие без следов перемещения
Экзогенные	Сжатие	Тектоника (пликативные и дизъюнктивные дислокации)	Отсутствует		Со следами перемещения в виде борозд, штрихов, волнистых струй или зеркал скольжения
Гипергенные	Растяжение	Выветривание	То же	Клиновидная	Неоднородные бугорчатые

Т а б л и ц а 7. Признаки приближенного определения марки углей по макроscopicким 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	Длиннопламенный
Жирный	12—25	Газовый
Жирно-стеклянный	25—60	Жирный
Стеклянный	35—60	Коксовый
Сухой стеклянный	15—30	Тощий
Металлический	7—15	Антрацит

рена), но и его характер. У бурого угля блеск витрена тусклый или смоляной. У каменного он изменяется от жирного до сухого стеклянного. Антрацитам присущ металлический блеск. Характер блеска и частота эндогенных трещин могут использоваться для приближенного определения марки блестящего и полублестящего угля (табл. 7).

Многие свойства углей и их внешний облик обусловлены количественным соотношением слагающих их микрокомпонентов. Микрокомпонентом, или мацералом, называется элементарная составная часть углей, образовавшаяся 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 микрорельефу (рис. 63). В зависимости от детальности и целей исследования в углях устанавливают или отдельные микрокомпоненты, или их группы (табл. 8).

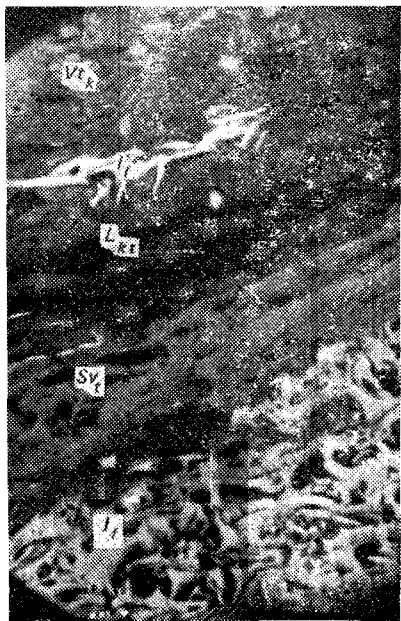


Рис. 63. Особенности строения и состава каменного угля (ув. 665, отраженный свет, масляная иммерсия): Vt_k — коллинит, Sv_t — семителлинит, L_{kt} — кутинит, I_f — фюзинит.

Т а б л и ц а 8. Номенклатура микрокомпонентов каменных углей
(по СТ СЭВ 5431—85)

Группа, индекс	Микрокомпонент, индекс	
Витринит <i>Vt</i>	Телинит Коллинит	<i>Vt_t</i> <i>Vt_k</i>
Семивитринит <i>Sv</i>	Семителинит Семиколлинит	<i>Sv_t</i> <i>Sv_k</i>
Инертинит <i>I</i>	Семифюзинит Макринит Фюзинит Склеротинит Инертодетринит Микринит	<i>I_{sf}</i> <i>I_{ma}</i> <i>I_f</i> <i>I_{sk}</i> <i>I_{id}</i> <i>I_{mi}</i>
Липтинит <i>L</i>	Споринит Кутинит Резинит Суберинит Альгинит Липтодетринит	<i>L_{sp}</i> <i>L_{kt}</i> <i>L_r</i> <i>L_s</i> <i>L_{al}</i> <i>L_{ld}</i>
Минеральные включения <i>M</i>	Глинистый материал Сульфиды железа Карбонаты Кварц Прочие	<i>M_{gl}</i> <i>M_s</i> <i>M_k</i> <i>M_{kr}</i> <i>M_{pr}</i>

В землистых бурых углях, в которых не прошли еще процессы витринизации, вместо витринита, в соответствии с ГОСТ 12112—78, выделяется гуминит *H*. В группу гуминита входят гумотелинит *Ht*, гумодетринит *Hd* и гумоколлинит *Hk*.

Примерный микрокомпонентный состав литотипов приведен в табл. 9.

Т а б л и ц а 9. Микрокомпонентный состав литотипов угля

Литотип	Содержание, %	
	витрини- та	инертинита, липтинита и минеральных примесей
Витрен	100	—
Блестящий — кларен	>75	<25
Полублестящий — дюрено-кларен	60—75	25—40
Полуматовый — кларено-дюрено	45—60	40—55
Матовый — дюрено	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 нижнекарбонových 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 прослой и линзы гумусово-сапропелевых и сапропелевых углей (Подмосковский и Львовско-Волынский бассейны). В последующие периоды исходный материал и обстановки угленакопления становятся все более разнообразными.

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 и 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 МНР, 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 (фюзинита и семифюзинита) нередко превышает 60—70 %, а в разновозрастных 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 растительных-углеобразователей был довольно постоянным; содержание основных компонентов было следующим (в %): С — 48—50; О — 38—42; Н — 6—6,5, N — 9,5—2,3.

Следовательно, особенности петрографического состава углей отдельных бассейнов (табл. 10) определяются не только

Т а б л и ц а 10. Содержания основных групп микрокомпонентов в углях отдельных бассейнов

Бассейн	Возраст	Содержание в чистом угле, %			
		витринита	семивитринита	липтинита	инертинита
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

временем формирования угленосных толщ, но и геотектоническими, и палеогеографическими условиями образования угольных пластов в этих бассейнах.

Элементный состав

Под элементарным составом в химии угля понимают содержание основных элементов углерода, водорода, кислорода, азота и органической серы — в его органической части. Образующиеся по молекулярному строению вещества, перечисленные элементы присутствуют во всех видах твердых горючих ископаемых. Кроме них в состав органической 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 — 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 3,0 %. 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 СССР, отличаются преимущественно высокой сернистостью ($>1,5\%$); в частности в углях отдельных бассейнов ее количество варьирует в следующих пределах (в %): Днепро-Донецком — 3,5—5; Донецком — 1,5—4,5; Львовско-Волынском — 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, также 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 том числе 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 (Днепровский и Южно-Уральский бассейны). Битумы из углей извлекают бензолом или бензином. В битумах, извлеченных бензином из углей Днепровского 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 раздельно оценивать 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. 7).

Основным показателем оптических свойств углей, нашедшим широкое применение для оценки их метаморфизма является отражательная способность витринита. Числовое значение отражательной способности R_o (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_o 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_o или воздушной среде R_a , разработана шкала метаморфизма углей (табл. 11).

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_o изменяется сублинейно;

2) по показателю R_o можно оценивать степень метаморфизма углей сложного петрографического состава, при этом особенно важно, что R_o устанавливается по веществу в его природном состоянии без сжигания, растворения и других видов деструкции.

Т а б л и ц а 11. Отражательная способность витринита, находящегося на различных стадиях углеобразовательного процесса

Уголь	Стадия	R_o , %	$10 R_a$, усл. ед.
Бурый	O_1	$<0,26$	<58
	O_2	$0,26-0,41$	$58-66$
	O_3	$0,42-0,52$	—
Каменный	I	$0,50-0,64$	$70-76$
	II	$0,65-0,84$	$77-82$
	II ₃ —III	$0,85-0,99$	$83-86$
	III	$1,0-1,14$	$87-90$
	IV	$1,15-1,49$	$91-97$
	IV—V	$1,50-1,74$	$98-102$
	V	$1,75-1,99$	$103-107$
	IV	$2,0-2,47$	$108-115$
Антрацит	VI—VIII	$2,48-3,49$	$116-130$
	VIII—IX	$3,50-4,70$	$131-145$
	IX—X	$>4,70$	>145

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.

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, знание которого необходимо при выборе схем и средств транспорта, типа и количества технологического оборудования шахт, резервов и обогатительных 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 микрокомпонентов группы витринита и стадией метаморфизма углей. Было выявлено, что с увеличением содержания витринита снижалось сопротивление резанию углей (рис. 64). 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,



Рис. 64. Изменение сопротивления резанию углей A в зависимости от содержания компонентов группы витринита

что при прочности угля в пласте свыше 1,96 усл. ед. (по шкале М. М. Протодяконова) 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.

Тектурно-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 витриновые и 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 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. 65). 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, слагающих каменные угли, наибольшей плотностью (1,48—1,50 г/см³) обладает инертинит, наименьшей (1,12—1,18 г/см³) — липтинит (рис. 66).

Склонность углей к окислению и самовозгоранию взаимосвязана с их вещественным составом. При открытой разработке, в целиках, оставляемых в шахтах, при транспортировании и хранении угли окисляются кислородом воздуха и нередко само-

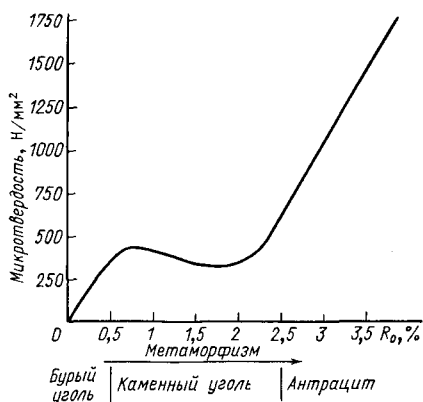


Рис. 65. Микротвердость витринита углей разных стадий метаморфизма

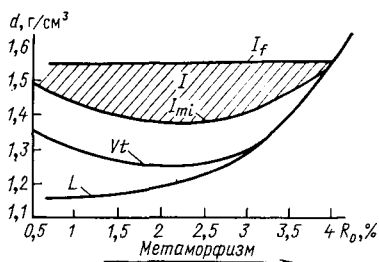


Рис. 66. Зависимость плотности отдельных петрографических составляющих угля — инертинита I (фюзинита I_f и микринита I_{mi}), витринита Vt и липтинита L — от стадии его метаморфизма

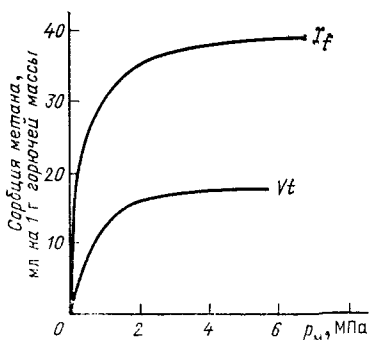
возгораются. Кроме того, при окислении изменяются технологические свойства углей вплоть до полной потери пригодности их для определенных видов потребления (например для коксования).

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. 67).

Для оценки зависимости пожарной опасности шахт от горно-геологических факторов Г. Е. Иванченко с соавторами обработали статистические данные об эндогенных пожарах, происходивших на шахтах Карагандинского бассейна. В качестве показателя пожарной опасности шахты они использовали частоту пожаров Q_1 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: $A = 0,44$; $B = 0,014$.

Рис. 67. Различия в сорбционных свойствах витринита Vt и фюзинита I_f при изменении давления метана p_m в угле III стадии метаморфизма



Пожароопасность угольных пластов, несомненно, связана со склонностью слагающих их 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 $S = 4,73 + 0,73 F$.

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 случаев, когда известно направление использования какого-либо угля в промышленности, проводится неполный технический анализ, т. е. определяют 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°C. 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 слипания угольной мелочи при классификации по крупности. Высокая влажность отрицательно сказывается на теплотехнических и технологических свойствах угля.

Зольность — выход негорючего остатка (золы) 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 золы.

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 золы 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 качество 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 , CO_2 , предельных и непредельных углеводородов (преимущественно CH_4). Выход летучих веществ — важная характеристика, с давних пор используемая в качестве одного из основных параметров в промышленных классификациях 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. 68).

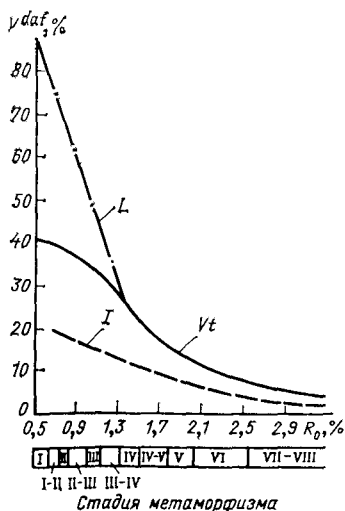


Рис. 68. Изменение выхода летучих веществ V_{daf} из микрокомпонентов группы витринита Vt , инертинита I и липтинита L на различных стадиях метаморфизма углей

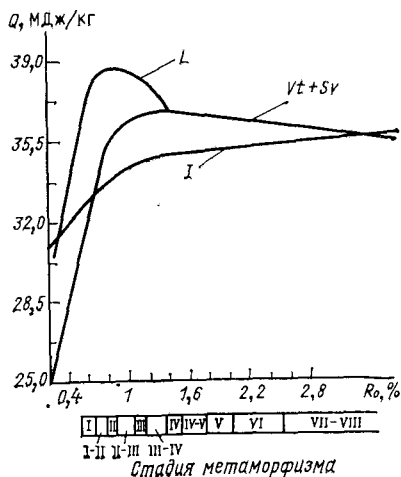


Рис. 69. Изменение теплоты сгорания Q компонентов группы витринита и семивитринита $Vt+St$, липтинита L и инертинита I на различных стадиях метаморфизма углей

Таблица 12. 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} , %
O ₁	63—71	4,4—6,3	20—28	0,7—1,0	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	4,0—5,8	16—22	1,0—1,4	27,6—32,6
I	74—80	5,1—5,7	12—16	1,0—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	5,0—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	1,0—2,5	34,5—36,2
VII—VIII	90—95	1,8—3,7	1—2	1,0—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 каменных углей и установления их окисленности. Этот показатель изменяется при метаморфизме угля (табл. 12); максимальные значения теплоты сгорания характерны для липтинита (рис. 69).

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 неvspученный (плоская лепешка с серебристым блеском поверхности) и сплавленный вспученный (вспученный нелетучий остаток с серебристым металлическим блеском поверхности) королёк.

Нелетучий остаток бурых углей и антрацитов — неспекшийся порошкообразный у длиннопламенных и тощих углей он изменяется от порошкообразного до слабоспекшегося. Спекшиеся и сплавленные корольки типичны для углей средних стадий метаморфизма (от газовых до отощенно-спекающихся).

Для количественной оценки спекаемости наибольшее распространение в нашей стране получил пластометрический метод 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 y , существенно зависит от их петрографического состава (рис. 70) и имеет максимальные значения в витринитовых углях на III стадии метаморфизма $R_o = 0,86—1,00$.

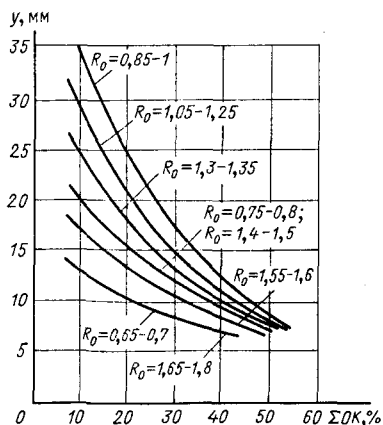


Рис. 70. Изменение толщины пластического слоя в зависимости от содержания отощающих компонентов ($\Sigma OK = I_f + 2/3Sv$) в углях различных стадий метаморфизма

Коксуемость — это способность смеси угольных зерен в заданных условиях подготовки и коксования образовывать твердый углеродистый остаток (кокс) необходимой крупности и прочности.

Оценивается коксуемость прямыми и косвенными методами. *Прямые методы* предусматривают коксование испытуемого угля или смеси углей (шихты) в лабораторных или полужаводских условиях с последующим изучением физико-механических свойств полученного кокса. В лабораторных условиях исследуются пробы массой 3 кг (ГОСТ 9521—74), а в полужаводских — массой 50 кг (опытное коксование 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 M40 и истираемость — M10. 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. 71) и степени метаморфизма угля (рис. 72).

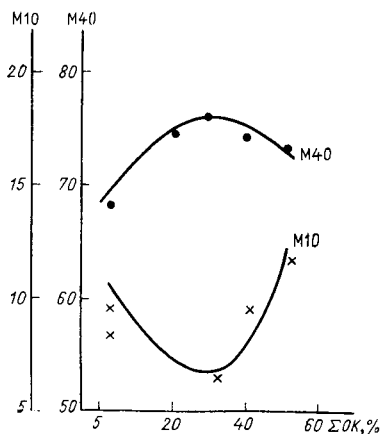


Рис. 71. Зависимость качества кокса от содержания отошающих веществ ΣOK в угле III стадии метаморфизма (R_0 : 0,95—1,10 %)

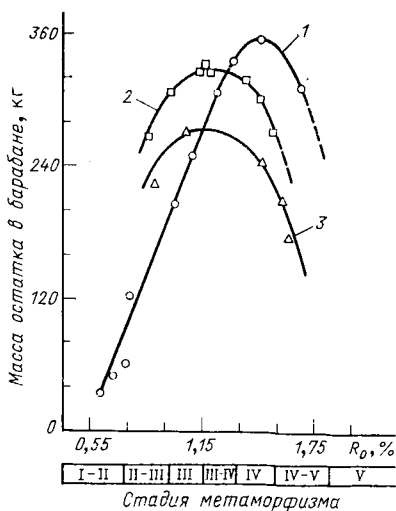


Рис. 72. Изменение качества кокса при метаморфизме углей, содержащих различное количество отошающих компонентов:

1 — 8—15 %; 2 — 28—35 %; 3 — 38—45 %

Косвенные методы основаны на установленных взаимосвязях между петрографическими характеристиками, элементным составом и спекаемостью, с одной стороны, и коксуетостью — с другой.

Обогатимость углей устанавливается на основе определения гранулометрического (ситового) и фракционного состава.

При выявлении гранулометрического состава уголь рассевается 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 расщепления 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 производится 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.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите литотипы ископаемых углей.
2. Приведите классификацию и характеристику трещин ископаемых углей.
3. По каким признакам приближенно определяют марки ископаемых углей?
4. Перечислите микрокомпоненты ископаемых углей и микрокомпонентный состав литотипов.
5. Дайте характеристику петрографического состава ископаемых углей различного возраста.
6. Какие компоненты определяют элементный и групповой состав углей?
7. Объясните зависимость физических и физико-механических свойств углей от их петрографического состава и степени метаморфизма.
8. Какие показатели состава углей влияют на склонность их к окислению и самовозгоранию?
9. Какие характеристики определяют при техническом анализе углей? Для каких целей используют результаты технического анализа?
10. Как изменяются влажность, зольность, выход летучих веществ, теплота сгорания, спекаемость, коксуетость в углях различных марок?

КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕЙ

Промышленные и промышленно-генетическая 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. 13). 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 RI , характеристикой нелетучего остатка и т. п. 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, отошенные 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 т. д.), где цифра у буквенного обозначения марки указывает наименьшую величину толщины пластического слоя для углей данной технологической группы.

Т а б л и ц а 13. Промышленные классификации углей Донецкого и Кузнецкого бассейнов

Марка	Донецкий (ГОСТ 8180—75)			Кузнецкий (ГОСТ 8162—79)		
	Технологическая группа	v^{daf} , %	y , мм (R_I)	Технологическая группа	v^{daf} , %	y , мм (R_I)
Д	—	35 и более	6	—	37	—
Г	Г6	35	6—10	Г6	37	6—16
	Г11	и более	11—25	Г17	—	17—25
ГЖ	ГЖ6	27—35	6—10	—	31—37	6—25
	ГЖ11	—	11—16	—	—	—
Ж	Ж17	27—35	17—20	ГЖ26	33	26 и более
	Ж21	—	21 и более	2Ж26	33 и менее	26 и более
КЖ	Не выделяется			КЖ14	25—31	14—25
	—			КЖ6	—	6—13
К	К21	18—27	21 и более	К13	25	13—25
	К14	—	14—20	К10	17—25	10—12
К2	Не выделяется			—	17—25	6—9 (18 и более)
СС	Не выделяется			1СС	25—37	—
	—			2СС	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 невзаимозаменяемыми 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. Аммосову и его ученикам сделать вывод о том, что рациональная классификация углей должна базироваться на параметрах, характеризующих главные особенности 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»; вводится 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 RI ;

для антрацитов — объемный выход летучих веществ на сухое беззольное состояние V_{00}^{daf} и анизотропия отражения витринита A_R .

Эти параметры применяются в настоящее время при оценке углей как сырья для различных направлений использования.

Ископаемые угли в зависимости от значения величины 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. 14).

На основании перечисленных генетических и технологических параметров установлены классы, категории, типы и подтипы углей, кодовые номера которых соответствуют минимальным значениям показателей (для R_o — умноженным на 10, а для ΣOK — деленным на 10). Комплексная оценка свойств отдельного угля выражается семизначным кодовым номером, элементы которого указывают на принадлежность угля к определенному классу (два знака), категории (один знак), типу (два

Т а б л и ц а 14. Виды ископаемых углей (составлено на основе ГОСТа 25543—88)

Вид угля	R_o , %	Q_s^{af} , МДж/кг	Выход летучих веществ на сухое беззольное состояние V^{daf} , %
Бурый Каменный	Менее 0,60 От 0,40 до 2,59 вклю- чительно	Менее 24 24 и более	— 8 и более
Антрацит	2,2 и более	—	Менее 8

знака) и подтипу (два знака). Угли, близкие по особенностям поведения в различных технологических процессах, объединены в 11 марок, большинство из которых разделены на технологические группы. Всего различают 27 групп, включающих подгруппы, благодаря чему витринитовые угли отделены от инертинитовых. Марки углей получили следующие наименования и индексы: бурый Б, длиннопламенный Д, длиннопламенный газовый ДГ, газовый Г, газовый жирный отощенный ГЖО, газовый жирный ГЖ, жирный Ж, коксовый жирный КЖ, коксовый К, коксовый отощенный КО, коксовый слабоспекающийся низкометаморфизованный КСН, коксовый слабоспекающийся КС, отощенный спекающийся ОС, тощий спекающийся ТС, слабоспекающийся СС, тощий Т, антрацит А. В соответствии с технологическими свойствами в ГОСТ 25543—88 указаны наиболее рациональные направления использования углей отдельных марок, групп, подгрупп и кодовых номеров.

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 соответствующее 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 — коксовые, жирные, отощенные коксовые, газовые и слабоспекающиеся. 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 сплавленный, 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 СС без смешивания с другими не образуют кускового кокса. Доменный кокс может быть получен из них только в смесях с жирными углями (при этом в смесях должно участвовать не менее 70—85 % последних).

Для производства электрической и тепловой энергии могут использоваться угли всех марок, в том числе 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.

Контрольные вопросы и задания

1. На какие марки разделяются ископаемые угли в промышленной классификации?
2. Расскажите о классификации углей по генетическим и технологическим параметрам.
3. По каким показателям производится промышленно-генетическая классификация углей?
4. Перечислите основные направления использования углей в народном хозяйстве.
5. В каких отраслях промышленности используется основная масса добываемых углей?
6. Какие угли относятся к коксующимся? На какие категории они разделяются?
7. Какие основные требования предъявляют к углям различные отрасли промышленности?

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 т. п.) 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 угленакпления 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 т. п. 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.

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 детальных петрографических исследованиях, 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. 73).

Мощность прослоя пород, м	Колонка	Мощность угольных пачек, м	$W^a, \%$	$A^a, \%$	$\gamma^{daf}, \%$	$S_t^a, \%$	$y, \text{мм}$	$Vt, \%$	$SV, \%$	$I, \%$	$L, \%$
		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

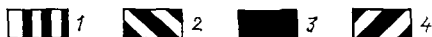


Рис. 73. Детальная характеристика состава и свойств угольных пачек одного из пластов Воргошорского месторождения Печорского бассейна (по Ю. В. Степанову):

1—3 — литотипы угля: 1 — блестящий, 2 — полублестящий, 3 — полуматовый; 4 — углистый аргиллит

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. Исключение 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 накопления. 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 большого количества угольных пачек промышленную ценность может представлять только одна, залегающая непосредственно под кровлей или над почвой пласта и т. д.

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 кондиций 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 зависят 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 и 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 т. п. В ряде случаев для возникновения выдержанных пластов довольно благоприятными были внутриконтинентальные озерно-болотные условия угленакпления.

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 том числе 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 комкова-

того строения породы почвы получили у шахтеров название «кучерявичик».

Внутрипластовые породные прослои могут иметь различную мощность. Состав их преимущественно глинистый, реже алевроитовый; 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 , I_1 , I_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;

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

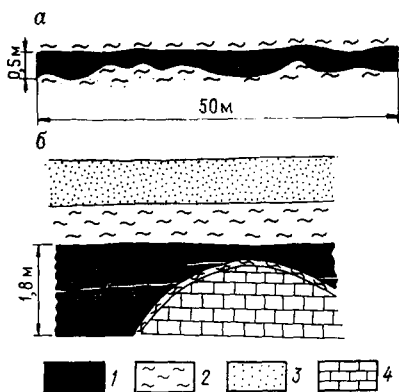


Рис. 74. Изменение мощности пластов вследствие неровности дна торфяника в Донецком (а) и Подмосковном (б) бассейнах: 1 — уголь; 2 — глина (аргиллит); 3 — песок; 4 — известняк

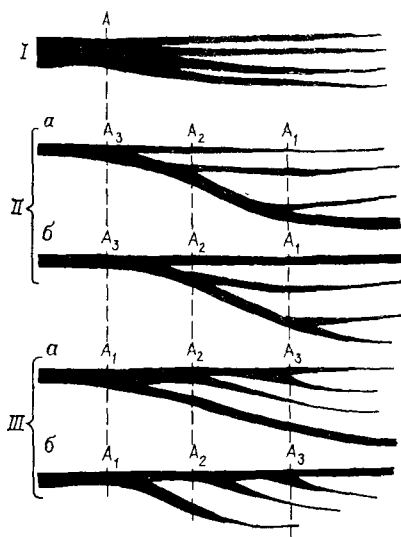


Рис. 75. Типы расщепления пластов угля (по Г. А. Иванову):

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 угленакопления)

более низинных участков. Естественно, над возвышенными участками древнего рельефа мощность угольных пластов всегда существенно меньше, чем на соседних, а нижние пачки угля отсутствуют (рис. 74).

К этому же типу нарушений принадлежат расщепления (рис. 75), выклинивания и фациальные замещения угольных пластов. Расщепление пластов связано с неравномерностью опускания или поднятия отдельных участков общей площади угленакопления или с несовпадением скоростей нарастания торфяника и опускания площади торфонакопления. В подобных случаях в торфянике формируются минеральные прослои, возрастание мощности которых обуславливает расщепление, а нередко и выклинивание 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 угленакопления. При этом отмечаются загрязнение угольной массы минеральными примесями, 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, инъекцией в уголь кла-

Таблица 15. Классификация размывов угольных пластов (по П. 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 удлиненные котлованы)
		V	Угольный пласт на отдельных участках (площадной смыв)

стического материала, обладающего плавучими свойствами, тектоническими воздействиями, карстовыми явлениями и внедрением изверженных пород.

Эпигенетические размывы подразделяются на овражно-речные и морские (табл. 15). Первые довольно широко распрост-

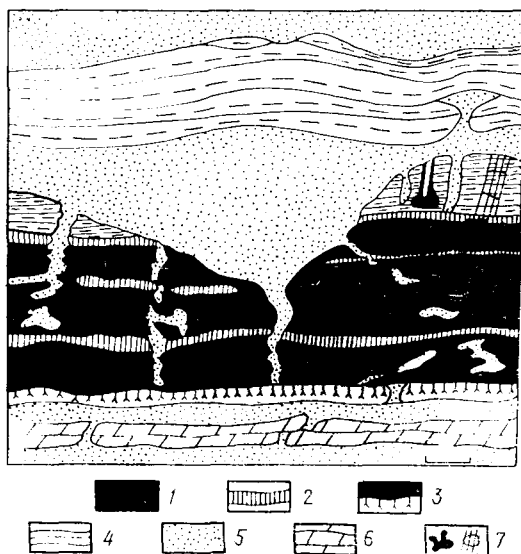


Рис. 76. Сводная схема взаимоотношения кlastических жил и даек с вмещающими породами и угольными пластами Интинского месторождения Печорского бассейна (по А. Г. Дмитриеву):

1 — уголь; 2 — углистый аргиллит; 3 — стигмариевая почва; 4 — слоистые аргиллиты и алевролиты; 5 — песчаники; 6 — мергелистые породы; 7 — остатки стволов и хвощей

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.

Инъекция в угольные пласты кластического материала происходит по трещинам из перекрывающих или подстилающих пласты слоев плывуна. В процессе катагенеза угленосной толщи кластический материал литифицируется и превращается в алеврит 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. 76) и протяженности в десятки метров, существенно усложняющие 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. 77), отмечаются расштыбование угля, нарушение устойчивости вмещающих пород кровли и почвы и засорение угля минеральными при-

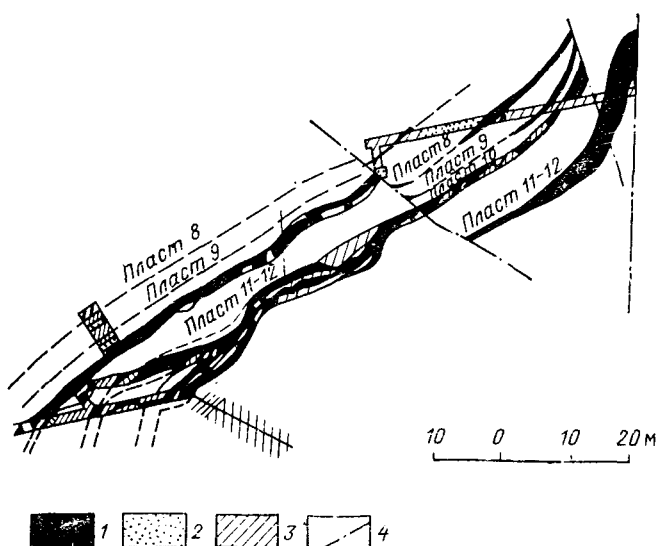


Рис. 77. Схематический геологический разрез участка Егоршинского антрацитового месторождения (по М. И. Сидоровичу):

1 — уголь, 2 — песчаник; 3 — глинистые сланцы; 4 — разрывные нарушения

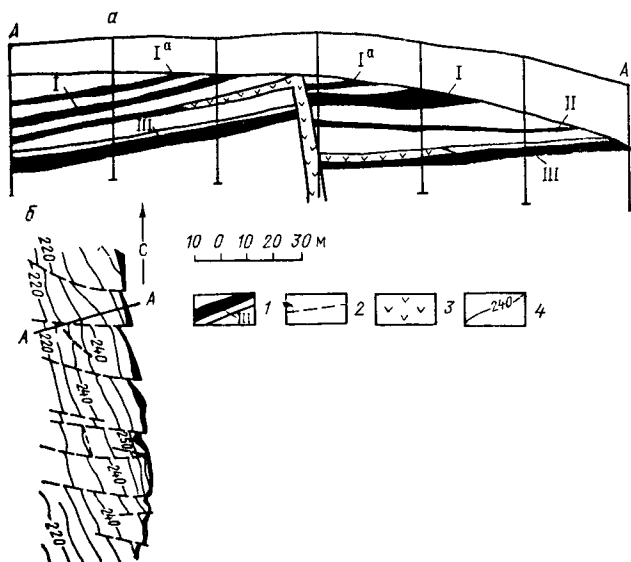


Рис. 78. Геологический разрез (а) Кайерканского месторождения и гипсометрический план пласта III (б) на поле карьера (по В. Ф. Твердохлебову): 1 — угольные пласты и их номера; 2 — разрывные нарушения; 3 — изверженные породы; 4 — изогипсы пласта III

месями. В отдельных случаях тектонические воздействия на пласты угля вызывают полную утрату ими промышленной ценности.

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. 78).

Проявление карста в подстилающих уголь породах приводит к провалам угольного пласта, изменению мощности и разрушению угля на локально 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 Мощный выгорел в глубину на 20—30 м и по простирацию на 20 км. Ширина зоны выгорания 1,5—2 км. Зоны выгорания пластов Мощного, Прокопьевского и Спутника на шахте «Тайбинская» (Кузбасс) распространяется на глубину до 200 м (рис. 79). «Горельники» на выходах пластов осложняют их отработку открытым способом. При подземной разра-

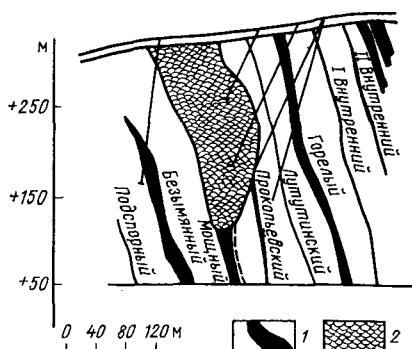


Рис. 79. Выгорание угольных пластов в Кузнецком бассейне (по Э. М. Паху и Э. М. Сендерзону):

1 — уголь; 2 — обожженные породы («горельники»)

ботке следует учитывать, что они нередко являются источником прорывов в нижележащие горные выработки значительных масс содержащихся в них вод.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое угольный пласт, угольный слой? Что называется почвой и кровлей угольного пласта? Как изображается графически структура угольного пласта?

2. Как распределяются угольные пласты по структурным признакам?

3. Приведите классификацию угольных пластов по мощности, степени ее выдержанности, углу падения. Какие существуют типы контактов угольных пластов с почвой, кровлей и породными прослоями?

4. Дайте характеристику эпи- и сингенетических нарушений угольных пластов.

5. Приведите классификацию размывов угольных пластов. Как изменяется морфология угольных пластов под влиянием тектонических воздействий, внедрений интрузивных пород, проявлений карста, при выгорании угля?

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

Т а б л и ц а 16. Классификация обломочных пород

Размер обломков, мм	Рыхлые		Сцементированные	
	окатанные	неокатанные	окатанные	неокатанные
Более 200	Валуны	Глыбы	Конгломерат: валунный	Брекчия: глыбовая
200--50	Галечник: крупный	Щебенка: крупная	крупногалеч- ный	крупная
50—10	мелкий	мелкая	мелкогалеч- ный	мелкогалеч- ная
10—2	гравий	дресва	гравийный (гравелит)	дресвяник
2—0,5 0,5—0,25 0,1—0,05	Песок: крупнозернистый мелкозернистый тонкозернистый		Песчаник: крупнозернистый мелкозернистый тонкозернистый	
0,05—0,01	Алеврит (песчаная глина)		Алевролит (окаменелая песча- ная глина), песчано-глинистый сланец	
Менее 0,01	Глина		Аргиллит (окаменелая глина), глинистый сланец	

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. 16.

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 обычно 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 сушей 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.

Контрольные вопросы и задания

1. Что называется угленосной толщей?
2. Объясните понятие угленосная формация.

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 Кузбасса), 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 углей, 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, залегая 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 (ФРГ), Иллинойс (США), к лимническим — Челябинский, Нижнесилезский (ПНР) и Саарский (ФРГ, Франция).

Т а б л и ц а 17. Схема генетической классификации угленосных формаций (по Г. А. Иванову)

Подразделения	Угленосные формации				
	геосинклинальная		промежуточная	платформенная	
	эвгеосинклинальная	периферических и аналогичных им прогибов		древней платформы	молодой платформы
Типы (по геотектоническому режиму)	Прогибы центральных, наиболее подвижных зон геосинклиналей	Внутренних и периферических (краевых) прогибов	Промежуточных прогибов	Внутренних и внешних устойчивых или подвижных (активизированных) прогибов (по форме)	Разнообразных приразломных, унаследованных прогибов, в соляно-купольных структурах и др.
Подтипы (по общему ландшафту)	Межгорные	Межгорные и предгорные	Межгорные	Равнинные и предгорные	Межгорные
Виды (пообладающей фациальной обстановке)	Прибрежно-морские	От прибрежно-морских и прибрежно-бассейновых (в основном лагунных) до прибрежно-континентальных (устьевых частей и дельт рек)	От прибрежно-бассейновых (в основном лагунных) до внутриконтинентальных	Прибрежно-морские; прибрежно-континентальные	Внутриконтинентальные
Типичные примеры	Месторождения восточного склона Урала, Род-Айленд	Кузнецкий, Карагандинский, Донецкий, Рурчорский, Аппалачский бассейны и др.	Минусинский, Улугхемский, Буренский бассейны	Подмосковный, Тунгусский, Канско-Ачинский, Днепровский бассейны	Кузнецкий, Челябинский, Южно-Уральский бассейны и др.

В начале 30-х годов 20 в. Г. А. 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 время 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 впадины, 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 детализировалась. В 1959 г. Г. А. Иванов предложил более детализированную генетическую классификацию угленосных формаций и бассейнов по геотектоническим режимам и палеогеографическим обстановкам (табл. 17).

Выделенные Г. А. Ивановым типы бассейнов отличаются по мощности угленосных толщ, количеству 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. 80.

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. 81) 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. 82). Пласты обычно приурочены к нижним частям угленосной толщи.

Большие различия между геосинклинальными и платформенными бассейнами наблюдаются в метаморфизме углей и степени вторичной измененности 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. 80).

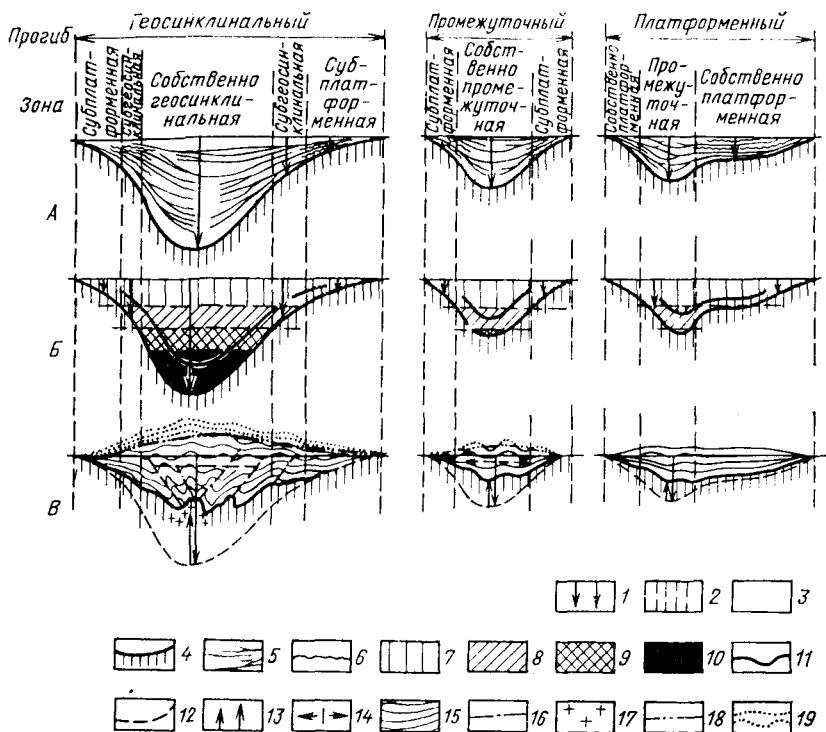


Рис. 80. Схема образования и изменения угленосных формаций в основных типах волновых прогибов (по Г. А. Иванову).

А — основные типы волновых прогибов, их зоны и образующиеся в них угленосные формации; В — зональность регионального метаморфизма угля в различных типах угленосных формаций (вертикальные зоны метаморфизма углей и соответствующие им зоны эпигенеза пород); В — зональность тектоники и разрушение (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 — толстые 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 эрозийного среза формации; 19 — ее размытые части

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. 83). Вмещающие породы — сильно уплотненные и сцементированные, нередко метаморфизованные. Степень измененности их соответствует стадии метаморфизма заключенных в них углей. Например, в угленосной толще Донбасса временное сопротив-

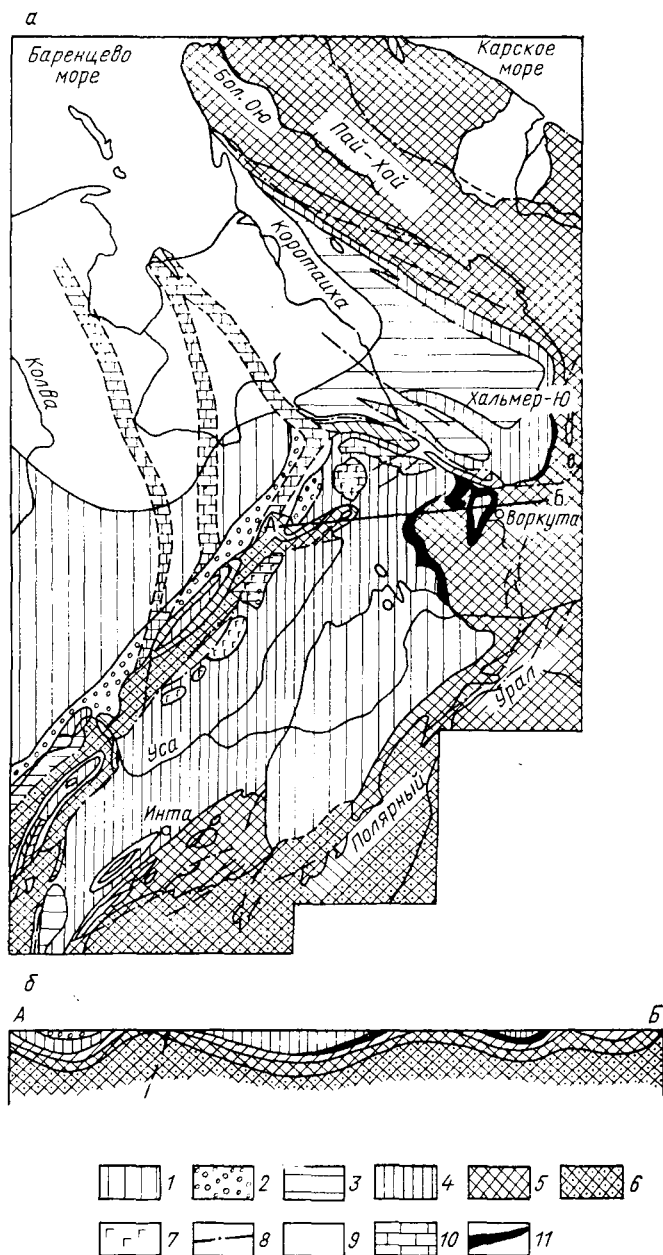


Рис. 81. Геологическая карта (а) и разрез (б) Печорского бассейна:

1 — мел; 2 — юра; 3 — триас; 4 — верхняя пермь (печорская серия); 5 — нижняя пермь (юньягинская серия); 6 — допермские отложения; 7 — базальты; 8 — тектонические нарушения; 9 — участки невыясненного геологического строения; 10 — выходы карбонатных пород по геофизическим данным; 11 — угольный пласт

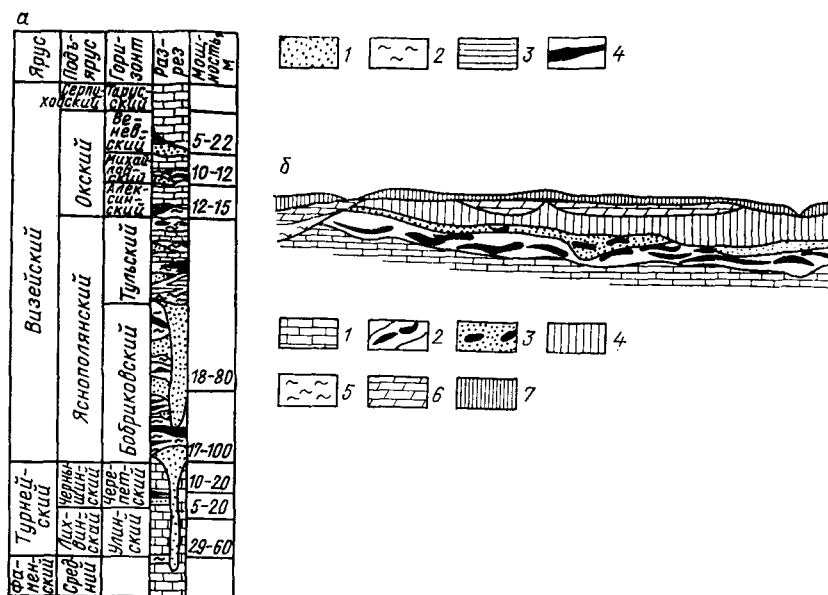


Рис. 82. Строение Подмосковного угольного бассейна:

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 — средне- и верхнекарбонные породы; 5 — юрские отложения; 6 — меловые породы; 7 — четвертичные образования

ление 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 угли слабо измененные, низкой степени углефикации, в основном бурые — землистые и плотные матовые, реже переходные к каменным с отражательной способностью витринита не более 0,7 %. Вмещающие породы слабо преобразованы или не изменены, рыхлые, нецементированные, реже уплотненные и сцементированные.

Геосинклинальные бассейны резко отличаются от платформенных по характеру складчатости и разрывов. В геосинклинальных бассейнах угленосные отложения обычно смяты в складки и разбиты разнообразными дизъюнктивными нарушениями. Интенсивность складчатости и проявления разрывной тектоники может существенно варьировать в пределах отдельных бассейнов и месторождений. Так, в присалаирской части Кузбасса и со стороны Колывань-Томской складчатой области

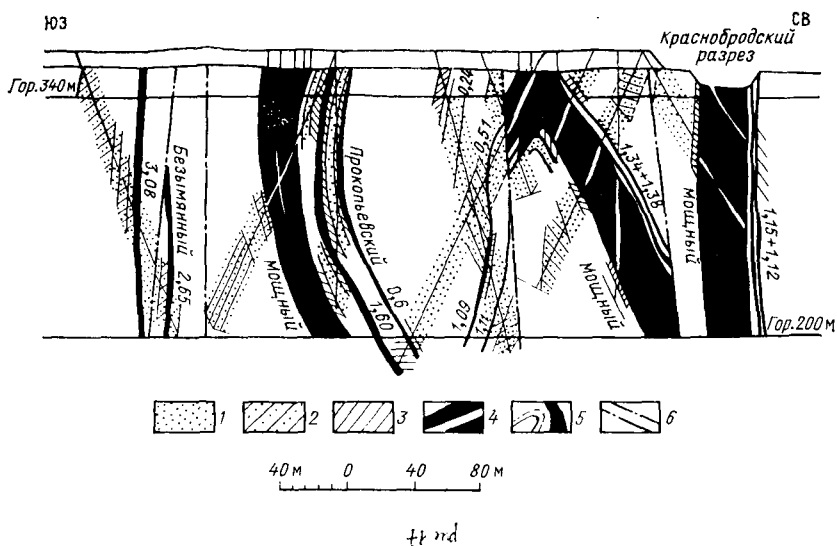


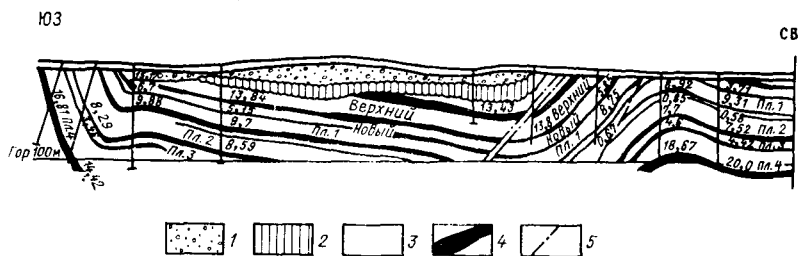
Рис. 85. Схематический геологический разрез по разведочной линии 44 Краснобродского разреза Кузбасса (по Э. М. Паху и И. В. Поповой):

1 — песчаники; 2 — алевролиты; 3 — аргиллиты; 4 — углистые аргиллиты; 5 — пласти угля, их мощность, м; 6 — разрывные нарушения

ных линейными нарушениями северо-западного простирания (рис. 86).

Аналогичные различия в особенностях нарушенности залегания угленосных отложений наблюдаются в Карагандинском (рис. 87, 88) и других бассейнах геосинклинального типа.

Для платформенных бассейнов типично почти горизонтальное или очень пологое залегание угольных пластов с редкими разрывами, в основном сбросами.



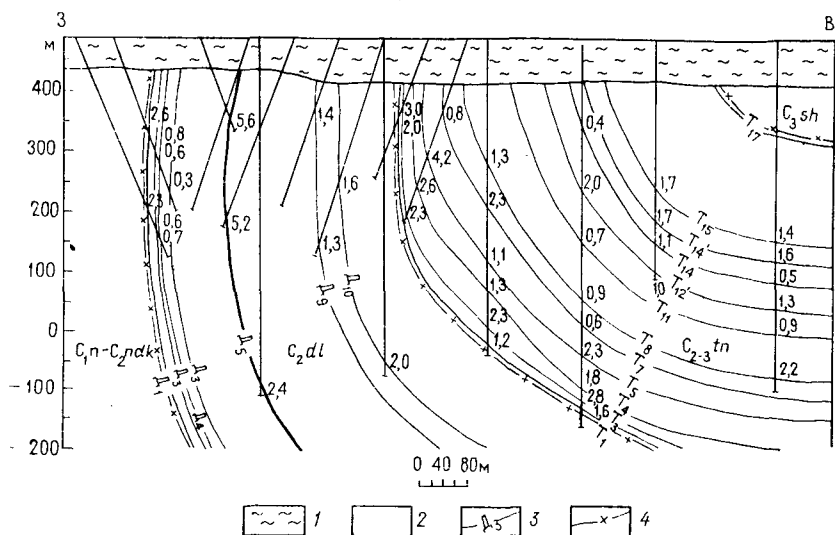


Рис. 87. Геологический разрез западной части Тентекского участка Карагандинского бассейна (по А. А. Костливецеву, В. М. Бекману, И. В. Орлову): 1 — неогеновые глины; 2 — свиты карбона (C_3sh — шаханская, $C_{2-3}tn$ — тентекская, C_2dl — долинская, C_1-C_2ndk — надкарагандинская); 3 — угольные пласты долинской (Д) и тентекской (Т) свит, их номера и мощность, м; 4 — границы свит

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. 80).

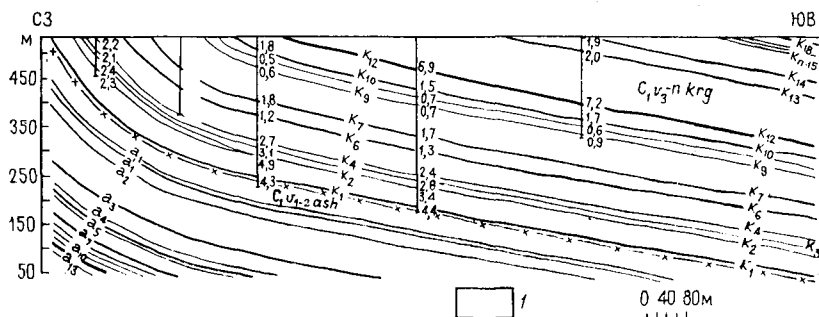


Рис. 88. Геологический разрез северо-восточной части Промышленного участка Карагандинского бассейна (по А. А. Костливецеву, В. М. Бекману, И. В. Орлову):

1 — свиты карбона ($C_{1v3-n}krg$ — карагандинская, $C_{1v1-2}ash$ — ашлярикская). Остальные усл. обозначения см. на рис. 87

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 позднелюрское — раннемеловое, а третий — в позднемеловое — третичное (палеоген и неоген). В ходе дальнейших исследований эти данные были уточнены (рис. 89, табл. 18).

Изучение географического распределения бассейнов позволило П. И. Степанову разработать гипотезу о поясах и узлах угленакопления. На поверхности земного шара он выделил площади с преобладанием угленакопления: 1) каменноугольного; 2) пермского и юрского; 3) верхнемелового и палеоген-неогенового.

Площади с преобладанием угленакопления в каменноугольном периоде протягиваются в широтном направлении из восточных штатов США в Великобританию, а далее через север Франции, Бельгию, ФРГ, ЧССР, ПНР и СССР (Донбасс, Подмосковский, 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 (ПНР) бассейнах; средне-верхнекарбонных узлов два — североамериканский и западноевропейский.

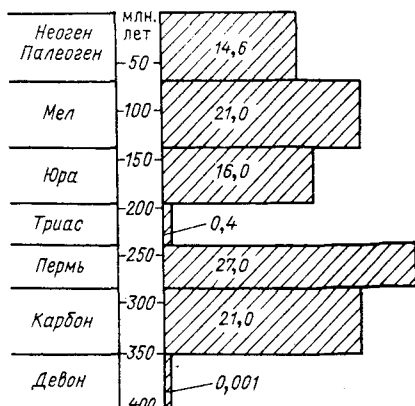
Пояс с преобладанием пермского угленакопления просле-

Т а б л и ц а 18. Распределение общих геологических запасов углей СССР по

Возраст углей	Запасы, всего	В том числе				
		Б ₁	Б ₂ , Б ₃	Д	Г, ГЖ	
В с е г о	6800*	231	1847	2089	670	
Карбоновый	475	—	54,6	108	113	
Пермский	3291	—	54,3	1240	358	
Триасовый	2,69	—	1,80	—	0,16	
Юрский	1534	25,7	986	333	132	
Меловой	1234	2,20	704	395	65,2	
Палеогеновый и неогеновый	265	203	46,1	13,2	1,76	

* Включая 0,079 млрд. т девонских углей.

Рис. 89. Распределение (в %) мировых запасов угля в стратиграфическом разрезе (по А. К. Матвееву и Н. Г. Железновой)



живается в направлении, близком к меридиональному, от Печорского бассейна к Таймырскому и Тунгусскому, затем через Кузнецкий и Минусинский к бассейнам МНР (Тован-Толгой), КНР (Шанси и др.), Индии и Восточной Австралии (Новый Южный Уэльс).

Юрские пояса угленакопления снова начинают приобретать широтное направление. Площади с максимальным проявлением верхнемелового, палеогенового и неогенового угленакопления охватывают восточное побережье Азии и Австралии, архипелаги Океании, западное побережье Северной и Южной Америки.

На территории СССР древнейшие угольные бассейны каменноугольного возраста расположены в основном в пределах европейской части страны (Донецкий, Подмосковный, Кизеловский, Львовско-Волынский), а также в Центральном Казахстане (Карагандинский), пермские бассейны (за исключением

возрасту и маркам, млрд. т (по А. В. Тыжнову)

по маркам угля							Без разделения по маркам
Ж	КЖ, К	ОС	СС	Т	ПА, А		
191	112	103	646	225	682	7,54	
12,6	15,9	43,7	31,9	39,9	54,6	1,49	
110	65,6	44,8	614	176	627	5,17	
—	—	—	—	0,798	—	—	
12,6	14,4	4,65	2	4,49	0,12	0,74	
35,4	16,1	12,6	2	3,33	2	0,058	
0,39	1,12	—	—	0,11	—	—	

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 СССР 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-Волынский, Кизеловский.

Кроме этого, около 500 млрд. т запасов находится в небольших по размерам угольных месторождениях, размещающихся по всей территории СССР. 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 в третьих (Ленский, Тунгусский, Таймырский, Зырянский) — исчисляется сотыми долями процента.

Контрольные вопросы и задания

1. Что называется угольным месторождением, бассейном?
2. Назовите особенности геосинклинальных угленосных бассейнов.
3. По каким характеристикам геологического строения и вещественного состава платформенные угленосные бассейны отличаются от геосинклинальных и промежуточных?
4. Расскажите о стратиграфическом и географическом распространении угленосных отложений.
5. Как распределены запасы углей по бассейнам СССР?

Часть VI

РАЗВЕДКА

И ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ОЦЕНКА

МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

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 СССР производится 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 СССР, которое, в свою очередь, разбивается на две подстадии:

а) региональные геолого-геофизические исследования масштаба 1 : 1 000 000—1 : 500 000;

б) региональные геофизические, геологосъемочные, гидро-геологические и инженерно-геологические работы масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000);

2) геологосъемочные 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 т. п.

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.

1. Какие стадии выделяются в общей системе геологического изучения недр?

2. В чем заключается геолого-промышленная оценка недр на различных стадиях их освоения?

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Итогом геолого-промышленной оценки месторождений полезных ископаемых 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 СССР 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 объеме выражении, других твердых полезных ископаемых — по массе.

В соответствии с народнохозяйственным значением выделяется **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 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 т. д.

В зависимости от степени изученности соответствующих участков месторождения выделяется **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. 19, показатели 1—6) качественные характеристики (7—10), горно-технические условия (показатель 11). Кроме показателей приведенных в табл. 19, 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 детальности проведенных исследований и достоверности полученных данных выделяются **три категории прогнозных ресурсов**: Р₁, Р₂ и Р₃.

Прогнозные ресурсы категории Р₁ оцениваются, как правило, на флангах эксплуатируемых месторождений и учитывают возможность прироста запасов за счет расширения площади разведки за контуры запасов категории С₂. 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 оруждений.

Прогнозные ресурсы категории Р₂ характеризуют возможность обнаружения новых месторождений на основе выявленных при крупномасштабной геологической съемке проявлений

Т а б л и ц а 19. Характеристика 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	Выявлены	Оценены по геологическим и геофизическим данным и подтверждены единичными выработками
2. Формы тел полезных ископаемых	Установлены полностью	Установлены основные особенности	Выявлены	
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	
5. Безрудные и некондиционные участки внутри тел полезных ископаемых	Выделены и оконтурены	Установлены закономерности размещения	Оценена возможность прерывистости	
6. Разрывные нарушения	Установлены все, определены амплитуды	Установлены крупные, оценена частота встречаемости мелких	Оценена возможность наличия	

Изучаемые факторы и показатели	Категории запасов			
	A	B	C ₁	C ₂
7. Природные разновидности (минеральные типы) полезных ископаемых	Установлены полностью	Определены		Определены либо по единичным лабораторным пробам или наблюдениям, либо по аналогии
8. Промышленные (технологические) сорта руд	Установлены и окончены	Выделены, установлены соотношения между ними	Установлены общие закономерности распределения	
9. Состав, свойства, распределение ценных и вредных компонентов	Установлены полностью	Установлены минеральные формы		
10. Характеристика качества по показателям кондиций	Определена по всем показателям			
11. Инженерно-геологические и гидрогеологические условия	Установлены полностью	Определены основные показатели, их влияние на вскрытие и разработку	Дана предварительная характеристика основных показателей	

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 производится по предположительным параметрам по аналогии с существующими продуктивными районами и областями распространения полезных ископаемых.

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 социалистических странах, близки к классификации, принятой в СССР; 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 ФРГ государственными геологическими органами приняты классификации, рекомендуемые для общего использования. Например, в США по степени изученности выделяется две группы запасов (ресурсов): необнаруженные (undiscovered) и установленные (identified). В свою очередь различают две категории необнаруженных 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 (reservos) и условные ресурсы (conditional resources).

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое запасы и прогнозные ресурсы?
2. На какие группы делятся запасы полезных ископаемых по их народнохозяйственному значению? По каким причинам запасы могут быть отнесены к группе забалансовых?
3. По какому принципу и на какие категории делятся запасы полезных ископаемых? Какие факторы и показатели необходимо и достаточно изучить для отнесения запасов к той или иной категории?
4. Назовите и кратко охарактеризуйте три категории природных ресурсов.

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 естественных и искусственных обнажений), дешифрирования аэро- и космических фотоснимков и проведения 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 химических 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 (закопущки, 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 (аналогии) подлежат в обязательном порядке следующие параметры:

- 1) масштаб месторождения (общее количество полезного ископаемого, число и размеры тел и т. п.);

- 2) качество полезного ископаемого (содержание полезных и вредных компонентов, текстурно-структурные характеристики, минеральный состав и т. п.);

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 пр.);

5) экономико-географические условия района (обеспеченность энергией, стройматериалами, трудовыми ресурсами, транспортные связи, рельеф, климат, возможности водоснабжения и т. п.).

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).

Контрольные вопросы и задания

1. Каковы основные цели, пути осуществления и результаты геологической съемки?

2. На какие виды делят геологическую съемку в зависимости от масштабов составляемых карт?

3. Что такое геологические поиски, поисковые признаки, поисковые предпосылки (критерии)?

4. На какие виды делятся геологические поиски в зависимости от детальности исследований?

5. Каковы основные задачи и способы осуществления различных видов поисков?

РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Разведка месторождений полезных ископаемых представляет собой комплекс исследований и необходимых для их выполнения работ, направленных на определение промышленного значения месторождения. Разведкой завершается геологическое изучение данного участка недр на предпроектной стадии его промышленного освоения.

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 строительных материалов — физические свойства, для минерального топлива — теплоту сгорания и зольность и т. д. Кроме того, 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 базируются 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 т. п.); 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 т. д. Кроме того, необходимы сведения экономико-географического характера: промышленная освоенность района, климат, рельеф, энергетические ресурсы, транспортные возможности, обеспеченность питьевой и технической водой, строительными материалами и т. д.

Таким образом, основными задачами разведки является получение необходимой и достаточной информации о геологических, горнотехнических и экономических условиях освоения месторождения.

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 большого количества многих 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 социалистического хозяйства — 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 тела полезного ископаемого или продуктивной зоны;
- 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 про-

явления, 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 производиться 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 том числе 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 т. д.). При этом 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: расходовать 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, Мингео СССР и Государственной комиссии СССР 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.

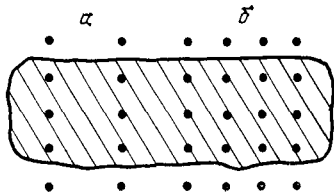
Содержание и задачи стадий разведки будут рассмотрены в следующем разделе.

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. Если, например, коэффициент вариации распределения полезного компонента по простиранию тела в 2 раза меньше, чем вкrest простирания, то равнодостоверная характеристика показателей качества по всей площади тела будет получена тогда, когда расстояние между разведочными выработками вкrest простирания будет в 2 раза меньше, чем по простиранию (рис. 90), а размещение выработок «равномерно» — на одинаковых расстояниях по простиранию и вкrest простирания тела (см. рис. 90, 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:

Рис. 90. Расположение разведочных выработок с учетом анизотропии свойств полезного ископаемого:

а — правильное; б — неправильное



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 ха-

рактистических полезных ископаемых), 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 сомнений, то ради сокращения сроков разведки могут быть нарушены другие принципы, главным образом, принцип последовательных приближений, т. е. стабильность 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 т. д. 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 разработки, 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.

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 отделяются друг от друга, особенно при разведке новых месторождений с неясными промышленными перспективами. В то же время при разведке месторождений достаточно крупных или содержащих остродефицитное сырье, нередко 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 производится 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 изучаются 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 СССР 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 производится **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 C_1 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 эксплуатации.

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 до-

разведку. В-третьих, расстояния между горноразведочными 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. Уточнение в пределах эксплуатационного блока или группы блоков количества и качества запасов полезного ископаемого, условий залегания, горнотехнических условий и т. п. В зависимости от типов решаемых задач выделяется 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 мето-

дики доразведки и эксплуатационной разведки являются предметом рассмотрения отдельной учебной дисциплины — «Горно-промышленной 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 производятся силами Мингео СССР 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. Геологоразведочные работы осуществляются стационарными круглогодичными партиями и финансируются также за счет средств госбюджета. Доразведка может проводиться как геологоразведочными партиями или экспедициями Мингео СССР, 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.

Методы разведки

Общепринятого определения понятия «методы разведки» в настоящее время нет. Нередко методами разведки называют те или иные способы расположения разведочных выработок или технические средства, 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, исследования 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, внутрен-

него строения и условий залегания месторождения. Разрезы могут быть вертикальными и горизонтальными, поэтому выделяется 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. Ранее, 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 приближительны. 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 разведываемого месторождения (значения которых меняются или уточняются с каждой новой выработкой, пробой, анализом и т. п.) с параметрами других подобных, но уже освоенных месторождений, а также в определении народнохозяйственной целесообразности дальнейшего освоения данного месторождения полезных ископаемых.

Технические средства разведки

Задачи разведки решаются с помощью технических средств, характеризующихся различной стоимостью и скоростью проведения работ, а также обладающих разной достоверностью получаемых данных.

Выделяется 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 обес-

печивают 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 *закопушками* обнажают полезное ископаемое при мощности рыхлых отложений, перекрывающих полезное ископаемое, не более 1 м. Чаще всего 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 рудовмещающей толщи. Они проходятся вкрест простирания вмещающих пород и тел полезных ископаемых и имеют значительную длину (до нескольких сотен метров), вскрывая вмещающие породы на значительные расстояния от полезного ископаемого. Прослеживающие канавы 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 канавы 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 — расчистки, располагаемые как по простиранию тела полезного ископаемого, так и вкрест его.

К **подземным горным выработкам** относятся шахты, квершлаг, 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 простиранья пород и полезного ископаемого для полного пересечения продуктивной толщи, *штреки*, ориентированные параллельно простиранью тел полезных ископаемых, *орты*, отходящие от штреков и позволяющие получить полное пересечение рудного тела по мощности. Для прослеживания полезного ископаемого по восстанию или падению из горизонтальных выработок — штреков, квершлагов 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 простиранью 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 колеблются 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.

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) разли-

чают 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 выносится 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 затруднены, 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 — 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 вы-

звано разрушение керна и на каком именно интервале, выяснить удастся далеко не всегда.

Во-вторых, в процессе бурения ствол скважины отклоняется от заданного направления и в горизонтальной (азимутальное искривление), 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 скважины, неудачно выбранный режим бурения и т. п.) причинами.

В-третьих, нередко случаи искажения содержания полезного компонента в кернах 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.

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 основных 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 каждого вида название конкретных систем определяется по типу бурового оборудования, например, система мелких вертикальных скважин ударно-канатного бурения или система вертикальных скважин колонкового бурения и т. п.

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 месторождениях 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 т. п.

Системы разведочных шурфов служат для разведки пологих плитообразных или небольших изометричных 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. Наиболь-

шим 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 разведываются 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.

Расположение разведочных выработок

Система геологических разрезов создается путем 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 освещать 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 от-

ношении 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 основных 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 широко 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. 91).

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.

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 количеству разведочных выработок n , полностью пересекающих 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,

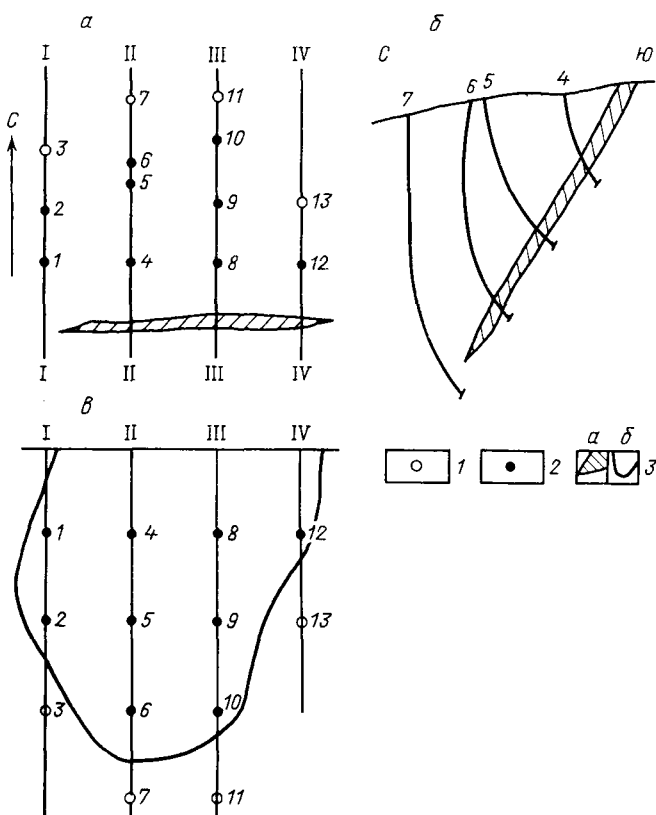


Рис. 91. Схема разведки плитообразного тела (жилы):

а — план; *б* — разрез по линии II—II; *в* — проекция на наклонную плоскость, параллельную падению жилы; 1—2 — скважины: 1 — не встретившие полезное ископаемое, 2 — пересечение рудное тело; 3 — рудное тело (*а*) и его контур в проекции (*б*)

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»).

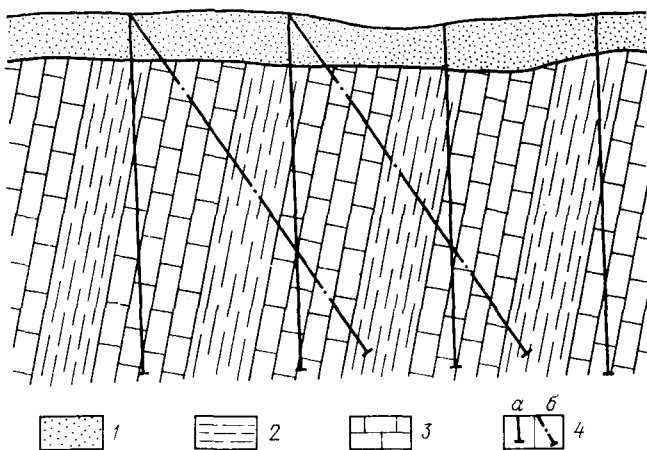


Рис. 92. Пример создания перекрытого сечения:

1 — наносы; 2 — глины; 3 — известняки; 4 — неправильная (не дающая возможности получить перекрытое сечение — а) и правильная (б) ориентировка скважин

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. 92), 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;
- 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, рекомендующие 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 переплотненной 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.

Опробование

Опробование — практически единственный способ изучения качественных показателей полезного ископаемого. В большинстве 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 т. п.);

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 принципам. 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, характеризующего 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: штучной, точечный, бороздовый, задирковый, валовый, керновый, шламовый.

При *штучном способе* от массива отделяется (откалывается или выпиливается) отдельный кусок или блок (штуч) 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 составляют 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. 20).

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 раз-

Т а б л и ц а 20. Примерные сечения борозд (в см) при опробовании рудных месторождений

Характер оруденения	Мощность рудных тел, м		
	>2,5—2	От 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

мера 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.

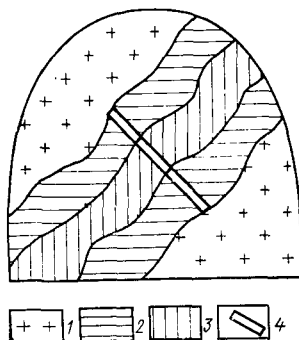
При опробовании угольных месторождений размер борозды варьирует от (10—16) × (3—5) см для однородных углей до (25—30) × (3—5) см для углей сложного и неустойчивого петрографического состава. На россыпях и месторождениях многих нерудных полезных ископаемых (цементное сырье, кирпичные глины, песчано-гравийные смеси и др.) применяются борозды сечением (25—30) × (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. 93). 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

Рис. 93. Расположение борозд при опробовании сложного по составу рудного тела:

1 — вмещающие породы; 2—3 — руды: 2 — галениитовые, 3 — сфалерит-галениитовые; 4 — борозды



площади выработки 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 т. д.) лопата, вагонетка, ковш и др. Масса валовой пробы может достигать нескольких тонн, поэтому данный способ опробования предназначен главным образом для проведения технологических испытаний или для контроля других способов опробования, а также при разведке россыпных месторождений драгоценных металлов и алмаза.

Керновое опробование производится следующим образом. Керн буровой скважины раскалывается вдоль длинной оси. Одна половина его идет в 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 широко 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, фотоопробование 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 опробование, с помощью которого при достаточном опыте наблюдателя могут быть получены довольно точные результаты.

Следует заметить, 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 крепость 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 т. д.

Объем работ по отбору проб также может иметь важное значение при выборе способа опробования. Если отбирается сравнительно небольшое число проб, то следует использовать,

не взирая 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. 21).

Почти при всех видах опробования после отбора проб производится их обработка. При минералогическом опробовании обработка заключается в изготовлении прозрачных и полиро-

Т а б л и ц а 21. 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, коалинов 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

ванных 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 объемной массы — это распиловка отобранных штучков на правильные геометрические фигуры: кубики, балочки, а для оценки качества промышленного сырья — сортировка, рассевание, отмывка и т. п.

Наиболее сложна обработка проб для химического анализа, особенно многокомпонентных (комплексных) руд. Для производства 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

$$Q = Kd^2,$$

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 количество этапов дробления, измельчения и истирания материала пробы, количество и степень сокращения на каждом этапе измельчения.

Оконтуривание тел полезных ископаемых

Оконтуривание — это процесс ограничения тела полезного ископаемого в пространстве. Данный процесс включает обычно две процедуры: определение положения опорных точек и соеди-

нение последних линией, которая и называется контуром. Оконтуривание тел полезных ископаемых производится 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. Оконтуривание 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 удается 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. 94).

Экстраполяция представляет собой оконтуривание за пределами выработок, встретивших полезное ископаемое, т. е. данным способом отстраивается только внешний контур (см. рис. 94). Существует два вида экстраполяции: ограниченная и неограниченная. *Ограниченная экстраполяция* — это проведение контура между выработками, одна из которых пересекала 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.

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, напри-

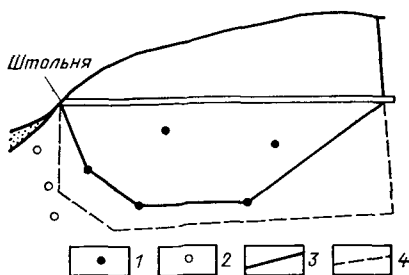


Рис. 94. Оконтурирование крутопадающего тела в проекции на вертикальную плоскость (по В. М. Крейтеру):

1—2 — точки пересечения с плоскостью разреза скважин: 1 — подсекающих рудное тело, 2 — не встретивших полезное ископаемое; 3—4 — линии контуров: 3 — внутреннего, 4 — внешнего

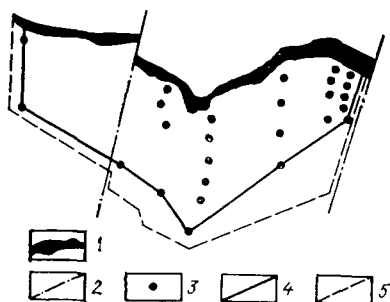


Рис. 95. Проведение внешнего контура по тектоническому нарушению (по В. И. Смирнову с изменениями):

1 — выход полезного ископаемого на поверхность; 2 — линии разрывных нарушений; 3 — скважины, пересекшие рудное тело; 4—5 — линии контуров: 4 — внутреннего, 5 — внешнего

мер, проведение контура по границе пород не проницаемых для гидротермальных растворов.

3. По тектоническому нарушению, смещающему или ограничивающему тело полезного ископаемого (рис. 95).

4. По естественному плавному выклиниванию залежи полезного ископаемого; этот способ дает хорошие результаты при оконтурировании 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. 96).

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 пря-

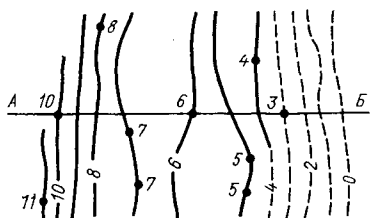


Рис. 96. Проведение внешнего контура по изолиниям мощности (по В. И. Смирнову):

1 — скважины, пересекающие рудное тело, его мощность, м; 2 — изолинии мощности, построенные по результатам интерполяции (а) и экстраполяции (б); 3 — рудное тело; 4 — вмещающие породы

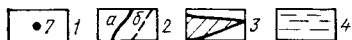
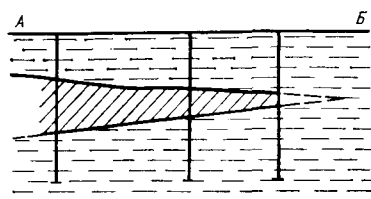
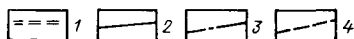
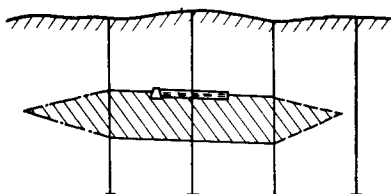


Рис. 97. Проведение контура тела полезного ископаемого с использованием разных приемов:

1 — непрерывного прослеживания; 2 — интерполяции; 3 — неограниченной экстраполяции; 4 — ограниченной экстраполяции



моугольника, высота которого равна $\frac{1}{2}$ 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 участках может быть получен различными способами, иначе говоря, каждый из перечисленных приемов позволяет построить контур как всего тела полезного ископаемого (см. рис. 94—96), так и его частей (рис. 97).

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 водопритоков 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 детальной 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: объемная масса, сопротивление раздавливанию, разрыву и сдвигу, абразивность, способность к самовозгоранию, слеживанию и другие свойства.

Оценка устойчивости и прочности горных пород производится 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.

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, керна скважины, 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 применяются 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 выбираются 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

Задачи оценки

Как справедливо отмечали А. Б. Каждан и Л. П. Қобатхидзе «...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-генетическому 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 детальных разведочных 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 (выясняются 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 профиль района и т. д. (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.

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, бортовое содержание полезного компонента, максимально допустимое содержание вредных примесей, минимальную выемочную мощность полезного ископаемого, максимальную мощность прослоев пустых пород или предельный коэффициент рудоносности, предельные технические 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 бортовое 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 месторождении, содержащем 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 1,0 %. Тогда если в блоке (участке) определено содержание меди 0,4 %, свинца 0,5 %, цинка 1,0 % 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, несмотря на невысокие 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 т. п.

Бортовое 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. Бортовое 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 1,0 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 % ($0,2 \cdot 5 = 1,0$ 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 от-

ношение 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.

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 СССР 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 изучения с детальностью, достаточной для составления проекта разработки месторождения;

4) участки, намеченные к первоочередному освоению, разведаны наиболее детально;

Т а б л и ц а 22. 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	—	—	—

5) изучены другие полезные ископаемые, залегающие в пределах горного ствола (вскрышные породы, отходы), определены возможности их использования и подсчитано количество;

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. 22).

Классификацией запасов все месторождения полезных ископаемых объединены в четыре группы по сложности геологического строения и 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 A и B (см. табл. 22).

2-я группа включает месторождения или их участки сложного геологического строения — либо с изменчивой мощностью 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 A, 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 горных работ.

Приведенная группировка месторождений по сложности геологического строения используется для целей разведки, обусловливает требования к подсчету запасов месторождений и положена в основу специальных инструкций ГКЗ по применению классификации запасов к месторождениям практически всех видов минерального сырья.

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 объемной массы d

$$Q = Vd.$$

(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

$$P = QC/100. \quad (2)$$

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

$$Q = Smd; \quad (3)$$

$$P = SmdC/100. \quad (4)$$

Формулы (3) и (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 т. п.), средняя мощность полезного ископаемого в пределах подсчетного блока, среднее содержание полезного компонента в подсчетном блоке и средняя плотность полезного ископаемого — представляют собой *исходные данные для 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, разрезах, 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

$$S = S_0 N_1 + S_0 N_2 / 2.$$

Средняя мощность m обычно определяется способом среднего арифметического по формуле

$$m = \Sigma m_i / n, \quad (5)$$

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

$$C = \Sigma C_i a_i / \Sigma a_i, \quad (6)$$

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 т. д.).

Объемная масса 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, объемная масса, 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.

$$C = 100P/Q. \quad (7)$$

Способ разрезов (сечений) очень широко применяется в практике геологоразведочного дела, так как позволяет достаточно 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. 98). 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:

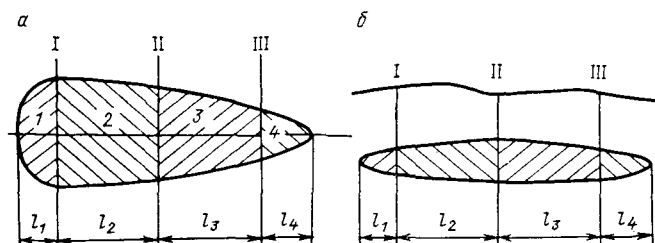


Рис. 98. Схема к подсчету запасов способом вертикальных параллельных сечений:

а — план; *б* — разрез по простиранию рудного тела; l_1 — l_4 — длины подсчетных блоков I — 4 ; I — III — линии разрезов

а) призмы

$$V = \frac{S_I + S_{II}}{2} l_2; \quad (8)$$

б) усеченного конуса

$$V = \frac{S_{II} + S_{III} + \sqrt{S_{II}S_{III}}}{3} l_3; \quad (9)$$

в) клина

$$V = \frac{S_I}{2} l_1; \quad (10)$$

г) конуса

$$V = \frac{S_{III}}{3} l_4, \quad (11)$$

где S_I , S_{II} , S_{III} — площадь полезного ископаемого по соответствующему разрезу, m^2 (см. рис. 98); l_1 , l_2 , l_3 , l_4 — расстояния между разрезами или от разреза до точки выклинивания полезного ископаемого, m .

Формулы (8) и (9) применяются для вычисления объема блоков, заключенных между разрезами (блоки 2 и 3 на рис. 99); 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 (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 (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 (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).

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?

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 прог-

нозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Контроль за геологоразведочным процессом, а точнее, за соответствием методики разведки требованиям классификации запасов осуществляет ГКЗ СССР.

ГКЗ СССР периодически издает нормативные документы (инструкции по применению классификации запасов к месторождениям соответствующих полезных ископаемых, по оформлению и представлению в ГКЗ СССР 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 СССР и научно-исследовательских организаций по разведке месторождений полезных ископаемых исходят из группировки месторождений для целей разведки 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.

Разведка месторождений металлических полезных ископаемых

Абсолютное большинство промышленных месторождений металлических полезных ископаемых по сложности геологического 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 разведываются 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 всех металлических полезных ископаемых всех четырех групп обязательно широкое применение геофизических исследований.

Месторождения железа разведываются 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 C_1 .

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 C_1 — 400×400 м.

Подгруппа 2^б включает метаморфогенные месторождения (Западный Каражал в СССР, 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 — C_1 .

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 $100 \times (50—100)$ м — C_1 .

Все промышленные **месторождения хромитовых руд** имеют собственно магматическое происхождение и обладают довольно сильной изменчивостью морфологии и качества, поэтому месторождения 1-й группы не выделяются. Основным критерием группировки месторождения хрома для целей разведки является 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 СССР, 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 C_1 — по сетке $(80—120) \times (60—80)$ 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 $(40—60) \times (20—30)$ м до категории В и $(80—120) \times (40—60)$ м — C_1 .

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 C_1 по сетке $(40-60) \times (20-30)$ 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 м по простиранию. Запасы категории А подсчитываются в пределах контуров рудных тел, построенных способом интерполяции (экстраполяция, даже ограниченная, не допускается). Разведка до категорий В и C_1 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 штокверковые (Богуты, Кара-Оба, Спокойнинское и др.) и скарновые (Тырныуз, Ингичке, Восток-II и др.) месторождения сложной морфологии с неравномерным распределением полезного компонента. Месторождения данного типа разведываются 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 C_1 ведется с помощью скважин, буримых по сетке 100—120 м.

К подгруппе 2^б принадлежат месторождения гидротермального генезиса, представленные крупными жилами или оруденельными зонами (месторождения Холтосон, Акчатау в СССР, 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 $(60-80) \times (40-50)$ м. Разведка до категории C_1 может проводиться только буровыми скважинами, располагаемыми по сетке $(100-120) \times (60-80)$ 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 СССР, Кишу в КНР, Маучи в Бирме и др.). Эти месторождения разведываются только до категории C_1 с применением горных выработок (штольни, штреки — через 40—60 м, восстающие — через 60—120 м, орты, рассечки — 10—20 м) и буровых скважин — $(60—80) \times (40—50)$ 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 штокверками (Каджаран, Жирекен, Агарак в СССР, Кляймакс, Квеста, Бингем в США, Эндако в Канаде, Чукикамата в Чили и др.) или крупными пласто- и штокообразными залежами (Тырнауз, Сорское в СССР, Санг-Донг в Южной Корее, 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 СССР, Квеста-I 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^a , 2^b , $2^в$ и $2^г$ соответственно 100—120, 50—60, 20—30 и 10—20 м. Буровые скважины на месторождениях подгруппы 2^a располагаются по сетке: $(100—120) \times (100—120)$ м, 2^b — $(50—60) \times (50—60)$ 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, располагае-

мых 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 С₁, 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 горноподготовительных работ.

Промышленные **месторождения никеля и кобальта** принадлежат к первым трем группам по классификации ГКЗ СССР. 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 $(400-600) \times (400-600)$ м — С₁.

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 С₁. Для разведки до категории В скважины располагаются по сетке $(50-100) \times (50-100)$ м, до категории С₁ — $(150-200) \times (75-100)$ 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 (Бурыктальское, Черемшанское, Липовское, Кайракты и др.). Месторождения этого типа также разведываются 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 C_1 буровыми скважинами и горными выработками, располагаемыми по сетке $(50-100) \times (25-50)$ м.

Месторождения алюминия (так же как и месторождения черных металлов) разведываются 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 разведываются по квадратной сетке 100×100 м до категории А, 200×200 м — В и 400×400 м — C_1 . Крупные вытянутые в одном направлении залежи подгруппы 1^б разведываются прямоугольной сетью скважин: $100 \times (50-100)$ м до категории А, 200×100 м — В и 400×200 м — C_1 .

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 СССР, Халимба в ВНР и др.). К этой же подгруппе принадлежат крупные залежи нефелиновых руд (Хибинская группа месторождений). Подобные месторождения разведываются до категории В сетью скважин $(150-100) \times (100-50)$ м и до категории C_1 — $(300-200) \times (200-100)$ 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, Горячегорское и др.). Эти месторождения разведываются обычно по квадратной сети 100×100 м до категории В и 200×200 м — до категории C_1 .

В 3-ю группу также входят месторождения двух подгрупп. В общем к данной группе относятся бокситовые месторождения средних и небольших размеров линзо- и гнездообразной формы с резко меняющимися мощностью и качеством (Барзасское, Мугайское, Чадобецкое и др.). Месторождения обеих подгрупп целесообразно разведывать до категории C_1 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 разведываются 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 СССР, Мансфельд в ГДР, Айнак в Афганистане) и наиболее выдержанные по мощности и качеству участки ликвационных медно-никелевых месторождений (Норильские месторождения в СССР, Садбери в Канаде и др.). Такие объекты разведываются 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 штокерковые 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 разведываются горно-буровыми системами. К подгруппе 2^а принадлежат крупные и средние пласто-, линзо- и жилообразные тела невыдержанной мощности, с относительно неравномерным распределением меди. В основном это колчеданные месторождения (Гайское в СССР, Рио-Тинто в Испании, Брокен-Хилл в Австралии и др.), а также гидротермальные (Чатыркульское) и стратиформные со сложным распределением окисленных руд (Удокан). Подобные месторождения разведываются до категорий В и С₁ по сети соответственно 50×75 и 100×150 м. Объекты подгруппы 2^б — крупные и средние по размерам штокерки и штокообразные тела неоднородного строения и с неравномерным распределением меди (Кальмакыр, Бошекуль в СССР, Эль-Сальвадор в Чили и др.) — разведываются до категории В по сети 50×100 м, а до категории С₁ — 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 С₁ по сети (50—100) × (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 СССР, Седмочисленица в НРБ, Олькуш в ПНР) 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) × (40—50) м. Запасы категорий В и С₁ могут оконтури-

ваться на основании бурения по сети $(80-100) \times (80-100)$ м (категория В) и $(160-200) \times (160-200)$ м (категория С₁).

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 СССР, Флин-Флон в Канаде, Эргани в Турции и др.), а также лентовидные залежи и жиллообразные тела некоторых колчеданных и скарновых месторождений (Белоусовское, Алтын-Топкан в СССР, Трепча в СФРЮ 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 С₁ — $(100-150) \times (100-150)$ м.

Месторождения 3-й группы обычно представлены средними и небольшими по размерам телами линзо- и пластообразной (жиллообразной) формы с резко изменчивой мощностью и невыдержанным распределением свинца и цинка (Садон, Рубцовское, Кансай и другие в СССР, Мажарово в НРБ, Пршибрам в ЧССР, Фрайберг в ГДР). Эти месторождения целесообразно разведывать до категории С₁ 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 СССР, 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 СССР, Корнуолл в Великобритании, Маучи в Бирме). 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 расщепки — 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 расщепок — 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 (расщепками) — 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 80—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 разведываются до категории C_1 также при непрерывном прослеживании рудных тел по простиранию и падению. Расстояния между прослеживающими горизонтальными выработками составляют 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 разведываются до категории C_1 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.

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 разведываются 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 C_1 они составляют соответственно 40—80 и 200—400 м. Расстояния между линиями одинаковые — для разведки до категории А — 150—200 м, В — 300—400 м и C_1 — 600—800 м.

Россыпные месторождения 2-й группы разведываются 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 C_1 — 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 C_1 — $(300—400) \times (10—40)$ 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 C_1 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, C_1 — $(200—300) \times (40—60)$ 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 C_1 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 C_1 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 C_1 траншеями через 400—600 м, скважинами и шурфами — через $(100—200) \times (10—20)$ м.

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, Пол-

нинское, Вятско-Камское месторождения желваковых фосфоритов, Кингисеппское, Тоолсе — ракушечных). Эти месторождения разведываются буровыми скважинами, располагаемыми по изометричной (квадратной или ромбической) сети с параметрами для категории А — 100—200 м, В — 200—400 м и C_1 — 400—800 м.

Подгруппа 1^б включает крупные магматические апатит-нефелиновые месторождения пласто- и линзообразной формы с относительно устойчивыми мощностью и качеством руд (Кукис-вумчорр, Расвумчорр, Юкспор). Месторождения этой подгруппы разведываются также буровыми скважинами, но по прямоугольной сети: для категорий А, В и C_1 ее параметры составят соответственно $(100—200) \times (50—100)$, $(200—400) \times (100—150)$ и $(400—800) \times (150—200)$ 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 разведываются скважинами по прямоугольной сети, расстояние между которыми возрастает от $(75—150) \times (50—75)$ м для категории В до $(150—300) \times (75—100)$ м для категории C_1 .

В подгруппу 2^в 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 $(100—200) \times (100—200)$ м, а C_1 — $(200—400) \times (200—400)$ м.

Месторождения ископаемых солей разведываются буровыми скважинами. Промышленное значение имеют месторождения, относящиеся в основном к 1-й и 2-й группам по сложности геологического строения; месторождения 3-й группы разведываются только в случае особо ценного состава солей.

Для целей разведки в 1-й группе выделяется 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-магниевых солей). Они разведываются квадратной сетью скважин с параметрами для категорий А, В и C_1 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^б при условии вы-

держанной мощности и качества (Белбажское, Тут-Булакское месторождения каменной соли, Тюбеганское калийно-магниевых солей). Их разведка производится 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-магниевых 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 Дурманский участки Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей). Подобные месторождения (или участки) разведываются 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: $(100—400) \times (100—400)$ 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, равномерным распределением графитного углерода и выдержанными условиями залегания (Завальевское, Тайгинское, Мурзинское). При горизонтальном залегании рудных тел эти месторождения разведываются изометричной (квадратной) сетью скважин, расстояния между которыми изменяются от 75—100 м для категорий 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 $(100—150) \times (25—50)$ м, В — $(100—150) \times (50—75)$ м и С₁ — $(200—300) \times (50—75)$ 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 мощно-

стью, равномерным распределением графитного углерода и нарушенным залеганием (Курейское, Безымянное месторождения). Они разведываются буровыми скважинами, отстоящими друг от друга для категории В на $(50-10) \times (25-50)$ м, а для категории C_1 — на $(100-200) \times (25-50)$ 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 C_1 по сети $(25-100) \times (25-50)$ м.

Месторождения строительного и облицовочного камня по сложности геологического строения относятся только к 1-й и 2-й группам и разведываются буровыми скважинами. В 1-й группе выделяется 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 габброноритов и лабрадоритов). Эти месторождения разведываются до категорий А, В и C_1 по сети соответственно $(200-300) \times (200-300)$, $(300-400) \times (300-400)$ и $(400-600) \times (400-600)$ м.

Подгруппа 1^б 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 — C_1 .

Подгруппу 1^в составляют моноклинально залегающие, крутопадающие или смятые в складки пласты и пластообразные залежи, выдержанные по структуре, мощности и качественным показателям, слабо затронутые разрывными нарушениями (Коелгинское, Чолурское, Эклендинское месторождения мраморов, Кнорринг конгломератов, Больше-Каменецкое известняков). Разведка подобных месторождений осуществляется также буровыми скважинами, но по анизотропной сети: $(100-200) \times (25-50)$ м — до категории А, $(200-300) \times (50-100)$ м — В и $(300-400) \times (100-150)$ м — C_1 .

Ко 2-й группе принадлежат линзо- и пластообразные залежи, штоки, дайки, жилы с невыдержанным качеством, интенсивно тектонически нарушенные или подверженные процессам

карстообразования (Артавадзское, Арктикское мраморов, Майкульское гранитов и др.). Объекты этой группы разведываются буровыми скважинами до категории В по сети $(50-100) \times (50-100)$ м и $C_1 - (100-200) \times (100-200)$ 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 разведываются 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 — C_1 . 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 C_1 .

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 — C_1 .

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 — C_1 .

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 C_1 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 выделяется 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 канавы и орты располагаются через 40—60 м по простиранию, а скважины бурят по сети $(40-60) \times (40-60)$ м; для категории С₁ сеть горных выработок разрежается до $(80-120) \times (120-160)$ м, а скважин — до $(80-120) \times (40-60)$ м. Для месторождений слюд (в отличие от многих других полезных ископаемых) ГКЗ СССР рекомендует сети выработок и для категории С₂ — горные выработки проходят через 120—160 м, скважины размещают по сети $(120-160) \times (60-80)$ м.

К подгруппе 2^б принадлежат крупные зоны и залежи флогопита и вермикулита сложного строения (Потанинское и Кулантаусское 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^в 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 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 нерав-

номерным распределением слюды (некоторые месторождения Мамско-Чуйского района). Они разведываются до категории C_1 горными выработками, располагающимися через 10—40 м, и скважинами — по сети $(20-40) \times (20-40)$ м. Для разведки по категории C_2 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 неравномерным 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.

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 слабо нарушенным 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 месторождений 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. *Еремин И. В., Лебедев В. В., Цикарев В. А.* Петрография и физические свойства углей. М., Недра, 1980.
6. *Каждан А. Б.* Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Научные основы поисков и разведки полезных ископаемых. М., Недра, 1984.
7. *Каждан А. Б.* Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Производство геологоразведочных работ. М., Недра, 1985.
8. *Каждан А. Б., Кобахидзе Л. П.* Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых. М., Недра, 1985.
9. *Крейтер В. М.* Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М., Недра, 1969.
10. *Курс рудных месторождений/Под ред. В. И. Смирнова.* М., Недра, 1986.
11. *Киевленко Е. Я., Сенкевич Н. Н.* Геология месторождений поделочных камней. М., Недра, 1983.
12. *Миронов К. В.* Справочник геолога-угольщика. М., Недра, 1982.
13. *Неметаллические полезные ископаемые СССР/Под ред. В. П. Петрова.* М., Недра, 1984.
14. *Петрология органических веществ в геологии горючих ископаемых/И. И. Аммосов и др.* М., Наука, 1987.
15. *Петрография углей СССР/Под ред. И. Б. Волковой.* Л., Недра, 1986.
16. *Петрология углей/Перевод с англ. под ред. И. В. Еремина/М., Мир,* 1978.
17. *Промышленные типы месторождений неметаллических полезных ископаемых/А. Е. Карякин, П. А. Строна, Б. Н. Шаронов и др.* М., Недра, 1985.
18. *Рудные месторождения СССР/Под ред. В. И. Смирнова.* М., Недра, 1980.
19. *Смирнов В. И.* Геология полезных ископаемых. М., Недра, 1982.
20. *Справочник по поискам и разведке месторождений цветных металлов/А. И. Кривцов, И. З. Самонов, Е. И. Филатов и др.* М., Недра, 1985.
21. *Сборник руководящих материалов по геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых/Под ред. Н. А. Быхова.* М., 1985.

УКАЗАТЕЛЬ БАССЕЙНОВ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Бассейны и месторождения СССР

Абагатуйское 220
Абаканское 70, 120
Авдеевское 248
Агарак 59, 144, 155, 375
Айдагское 225
Аккермановское 90
Аксай 233
Актас 67, 164
Актау 241
Актовракское 61, 215
Актюбинский 233
Акчатау 67, 374
Алаверды 80, 157
Аксоран 168
Алапаевское 44, 61, 91, 124, 132, 215
Алгуйское 217
Алданская группа 387
Алексеевское 237
Алтын-Топкан 69, 71, 168, 169, 379
Алымское 385
Амангельдинское 106
Ангари-Ленский 227
Ангренское 388
Апатитовый цирк 231
Аркутсайское 242
Артавадзское 386
Артемовское 383
Артикское 241, 386
Аспагаш 72, 216
Атасуйское 81, 128
Атляное 76
Аурахматское 220
Аягузская группа 208
Аятское 105, 125

Баженовское 61, 215, 216
Базаихское 242
Базылцак 70
Байдаевское 297
Бакальское 372
Баландинское 76
Балей 63, 180
Барандатское 293
Барзасское 262, 377
Баскунчак 228
Безыманное 209, 385
Белая Гора 63, 180, 242
Белбажское 384
Белокоровичи 242
Белорусский 227
Белорешское 222

Белоусовское 81, 170, 379
Белуха 58, 143
Бельчаковское 52
Береговое 149
Березовское 60, 180
Берикульское 61, 180
Бирюказан 205
Бистаг 72
Биюк-Янкойское 241
Блявинское 80
Богословское 285
Богуты 103, 374
Богущинское 146
Боевское 75, 208
Болнисское 385
Больше-Каменецкое 385
Больше-Саянское 232
Больше-Токмакское 129, 373
Большой Ктой 204
Большой Шоян 176
Бом-Горхон 143
Борзовское 54
Боркут 63, 176
Боровичское 100, 250, 251
Ботогальское 43, 208, 385
Бошекуль 144, 155, 378
Братское 383
Брединское 75
Букука 58, 143
Буреинский 298, 308
Буровщина 242
Буруктай 68
Бурыктальское 376
Бутыгычаг 164

Валькумей 60, 162, 380
Верхнее 71, 168, 380
Верхнее Кайракты 58, 143
Верхнекамское 104, 105, 228, 383, 384
Верхнеуфалейское 89
Висловское 89, 149, 150, 377
Водинское 109, 237
Водица 225
Волжский 233
Волковское 232
Волчанское 285
Вольское 239
Воргошорское 284
Воскресенское 165
Восток 138, 376
Восток-П 374
Восточный Коунрад 68, 375

Высокогорское 70, 120, 372
Высокопольское 149
Вятско-Камское 383

Газганское 76, 242, 385
Гайское 80, 157, 158, 378
Гаурдак 109, 237, 384
Геналдобское 385
Глебовское 248
Глубочанское 52
Глуховецкое 88
Годоганское 242
Головинское 385
Гончаровское 386
Горевское 379
Гороблагодатское 70, 120, 372
Горячегорское 44, 148, 377
Гулинское 387
Гумешевское 205
Гусаровское 248
Гусевогорское 44, 117, 372
Гюмюр 236

Давалинское 241
Давенда 143
Дальнегорское 71, 168, 169
Дарасунское 61, 180
Дарбаза 168
Даринское 220
Дашкесан 70, 120, 377
Дегтярское 157
Дезское 242
Депутатское 60, 103, 146, 162, 165, 379
Джаксыклыч 104
Джалинда 62, 163
Джанатас 233
Джезды 81
Джезказган 83, 157, 158, 378
Джергелан 84, 171
Джетыгаринское 61, 215
Джида 58, 143
Джизжикрут 176
Джусинское 378
Дзевги 225
Днепровский 264, 265, 298, 308, 388
Днепровско-Донецкий 233
Донецкий 7, 262, 263, 264, 273, 279, 285, 287, 288, 289, 297, 298, 307, 308, 388
Донское 132
Донузлав 104
Дуба-Юровское 386
Дубровское 380
Дурновское 81, 128

Евсугское 386
Егоршинское 292
Егорьевское 108, 382

392

Еленовское 245
Елизаветинское 90, 124
Емельяновское 241, 385
Енское 53, 213

Жайрем 81, 170
Жанет 68
Ждановское 138, 376
Железный Кряж 71
Жирекен 143, 375

Завальевское 76, 209, 384
Загликское 148
Заозерное 63
Западный Каражал 81, 124, 204, 373
Заполярье 376
Заря 386
Згид 60, 167
Зейское 388
Зикеевское 239
Зодское 180
Зыряновское 81, 170
Зырянский 308

Игнашинское 387
Изербельское 241
Изычское 372
Илецкое 105, 228
Ильдикан 174
Ималка 59, 162
Ингичке 145, 374, 386
Ингулецкое 74, 121, 372
Индер 384
Инзенское 239
Интинское 291
Ирбинское 372
Ирбитское 239
Иркутский 263, 264, 308
Иршинское 135
Иультин 59, 103, 146, 162, 374, 380

Каарма 241
Кадамджай 84, 176, 177
Каджаран 59, 144, 155, 375
Кайерканское 293
Кайракты 376
Калангуйское 220
Калуш 105, 227
Кальинское 152, 377
Кальмакыр 59, 144, 155, 378
Камникиви 138, 376
Камышловское 239
Кансай 71, 168, 379
Канско-Ачинский 263, 264, 293, 298, 308, 388
Капустинское 241
Карабашское 54, 78
Кара-Богаз-Гол 104, 229
Карагандинский 263, 264, 270, 273,

285, 298, 304, 305, 307, 308, 388
 Кара-Оба 67, 103, 146, 374
 Каратау 108, 232, 233, 242, 383
 Карсакпайская группа 74, 121
 Каула 138
 Кафан 80
 Качарское 58, 59
 Качканарское 44, 117, 372
 Кейвское 76, 149
 Кемерлинское 225
 Кемпендйское 228
 Кемпирсайская группа 132, 373
 Кемпирсайское 44, 89, 140
 Керченский 105, 125
 Кестер 164
 Кибик-Кордонское 76, 242
 Киви-Шурья 242
 Кизеловский 262, 263, 264, 298, 307, 308
 Кингисеппское 108, 383
 Киргитейское 217, 218
 Кировогорское 74
 Китильское 204
 Кителя 164
 Китайское 76
 Кия-Шалтырское 44, 148, 377
 Ключевское 43
 КМА 122, 149, 372
 Кнорринг 385
 Коашва 231, 383
 Ковдорское 47, 118, 211, 232, 372, 383
 Коедгинское 76, 385
 Кокджон 233
 Коксу 233
 Коммунар 58, 180
 Корнинское 241
 Коробковское 74, 121, 372
 Коробчеевское 241
 Коршуновское 62, 119, 372
 Костомукшское 74, 121, 372
 Котсельваара 138, 376
 Коунрад 59, 144, 155, 378
 Кочкарское 120, 180
 Крайнинское 225
 Красная Поляна 76
 Красная Шапочка 152, 377
 Красногвардейское 378
 Краснооктябрьское 377
 Крессовское 385
 Криворожский 121, 122, 372
 Кругловское 242
 Кручининское 134
 Кузнецкий 262, 263, 264, 273, 278, 279, 285, 290, 293, 294, 298, 304, 307, 308, 388
 Кукисвумчорр 231, 232, 383
 Кулантаусское 387
 Кулетское 387
 Кургановское 204

Курганшинкан 167, 168
 Курдюмовское 386
 Курейское 75, 208, 385
 Кусинское 44, 45, 117
 Кяхтинское 76, 149
 Ланское 63
 Ларское 76
 Латнинское 100, 248
 Лебединское 74, 121
 Лебяжинское 44
 Лениногорское 170
 Ленский 262, 308
 Лермонтовское 374
 Лопотское 242
 Лупикко 52
 Лысанское 134
 Львовско-Волынский 262, 263, 307, 308
 Люберецкое 99, 248
 Любытинское 250
 Лянгар 70
 Маарду 108
 Маднеули 170
 Мазульское 81, 90, 128
 Майкульское 386
 Майхура 145, 164
 Малкинское 90, 124
 Малосидельниковское 204
 Малотагульское 134, 135
 Малый Хинган 121
 Мамско-Чуйская группа 52, 53, 213, 387, 388
 Машакское 242
 Миасское 208
 Миллеровское 248
 Минусинский 264, 298, 307, 308
 Мир 203
 Миргалимсай 84, 171, 172, 378
 Михайловское 74, 121, 372
 Молитское 242
 Молодежное 61, 215
 Мугайское 377
 Мурзинское 384, 386
 Мурунтау 58, 180
 Нерчинская группа 60, 167
 Нерюндинское 62, 119
 Нижне-Тагильское (Pt) 44, 184
 Нижне-Тагильское (мрамор) 242
 Никитовка 84, 176
 Николаевское 71, 168
 Никольский 106, 129, 373
 Ново-Даниловское 385
 Новое 63
 Новороссийские 245
 Ногинское 208
 Ноемберянское 225

Норильск-1 49, 138, 376
Ньоркпахское 383

Озерное 81, 170
Октябрьское 49, 138, 376
Оленегорское 74, 121, 372
Олонойское 164
Омчикандин 103, 146
Ононское 59, 162
Онотское 217
Орленок 241
Орловское 379
Ороктойское 76
Ошурковское 231

Партизанский 308, 388
Перевальное 379
Первомайское 68, 121, 373
Первоуральское 117
Петровское 385
Печорский 262, 263, 264, 284, 298,
301, 307, 308, 388
Печорское 386
Питкяранта 164, 241
Пламенное 63, 176
Подмосковный 262, 263, 264, 265, 289,
298, 302, 307, 308, 388
Покровское 377
Полнинское 382
Полтавское 75
Полуночное 90
Потанинское 239, 387
Правобережное 135
Припятский 227
Притобольское 150
Прокопьевско-Киселевское 297, 303
Прохорово-Баландинское 242
Пудожгорское 44, 117
Пуштулимское 76
Пыркаай 103, 146, 165

Раздольнинское 174
Расвумчорр 231, 383
Ратеванское 241
Риддер-Сокольное 81, 170, 379
Рогожинское 140, 377
Роздольское 109, 237
Рубцовское 379
Рудногорское 62, 119

Савинское 222
Садон 60, 167, 379
Саланрское 152
Саралинское 61, 180
Сарановское 44, 132, 133, 373
Сарбайское 70, 120, 372
Сардана 171
Саригюхское 386
Сары-Булак 174

Сарылах 174
Саткинское 222, 223
Саурнема 241
Сахалинское 176
Сахаринское 89, 140
Саякская группа 156
Светлый Ключ 217
Северный Коунрад 375
Северо-Онежское 150
Сенгилеевское 239
Сергеевское 384
Серовское 140
Сибай 80, 157
Сибирское 241
Сиваш 104
Синангойское 77
Синаро-Каменское 91, 124
Синарское 377
Скелеватское 74, 121
Скопинское 99
Славяно-Артемовское 105, 227, 228
Славянское 105, 383
Слипчицкое 385
Смирновское 163
Советский рудник 58, 180
Сокирница 225
Соколовское 70, 120, 372
Соликамское 97
Солнечное 379
Солотвинское 384
Сорокское 109
Сорское 144, 155, 375
Сосьвинское 152, 377
Союзное 385
Спокойнинское 67, 374
Спорное 373
Спутник 376
Старобинское 104, 383
Старокрымское 76
Стебникское 105, 227, 384
Степняк 60, 180
Стойленское 74, 121
Стрельнинское 53, 213
Стрижевское 90
СУБР 106, 152
Сумсар 84, 171
Сюкеевское 109
Сюсюянсаари 241

Тагарское 62, 119, 150
Тажное 71
Тайгинское 209, 384
Таймырский 264, 307, 308
Такобское 220
Тактыбаевское 247
Талнахское 49, 138, 376
Тандзут 78
Тасеевское 63, 180
Тас-Казганское 385

- Ташлинское 248
 Таштагольское 70, 120
 Тедзами 225
 Текели, Среднее Текели 170
 Тепар 174
 Терек 176
 Терсинская группа 124
 Тихвинская группа 106, 150
 Тихвинское 150, 151
 Тишинское 81, 170, 379
 Токовское 241
 Толкачи 242
 Тоолсе 383
 Требушанское 242
 Троицко-Байновское 386
 Троицкое 385
 Тунгусский 262, 264, 298, 307, 308
 Тургайский 308
 Турьинское 156
 Тут-Булакское 384
 Тырнауз 70, 145, 374, 375
 Тюбеганское 384
- Угловский 388
 Удерейское 174
 Удокан 83, 158, 378
 Укок 72, 216
 Улутхемский 298
 Уромское 386
 Уруп 79, 80, 157, 378
 Усольское 383
 Успенское 106
 Уфалейское 76, 242
 Учалы 80, 157
 Уч-Кулач 84, 171
- Фестивальное 379
 Филизчай 157, 170
 Фокинское 239
- Хайдаркан 84, 176, 177, 220
 Хакасская группа 157
 Халиловское 89, 124
 Ханчеранга 60, 162
 Харгинское 247
 Харловское 44
 Хетоламбино 52
 Хибинская группа 44, 148, 231, 377
 Хинганское 62, 163
 Ховуаксы 140
 Холзунское 81, 124
 Холоднинское 81, 170
 Холст 60, 167
 Холтосон 374
 Хрустальное 60, 162, 163, 380
- Чадобецкое 150, 377
 Чайнытское 76, 149
 Чапаевское 67, 164
 Часовъярское 100, 248, 386
- Чатыркульское 70, 378
 Чаувай 84, 176
 Челябинский 297, 298, 308, 388
 Чемпура 63
 Черемуховское 152
 Черемшанское 208, 376
 Черкасское 100, 251, 386
 Чиятурское 106, 129, 373
 Чинейское 44
 Чинетское 117
 Чиригидзор 78
 Чкаловское 52
 Чолурское 385
 Чорух-Дайрон 70, 145, 374
 Чулактау 233
 Чульмаканское 388
 Чулымское 150
 Чупино-Лоухская группа 53, 213
- Шабровское 219
 Шайданское 241
 Шалгия 58, 84, 143, 171
 Шамлуг 80, 157
 Шахтама 143, 375
 Шеддокское 384
 Шерегешское 70
 Шерловогорское 103, 146
 Шокшинское 76, 242
 Шоржинское 44, 132
 Шорсу 109
 Шрошинское 386
- Щигровское 108, 382
- Эге-Хая 60, 162
 Экибастузский 285, 308, 388
 Эклендинское 385
 Экуг 67, 164
 Эльтон 228
 Этыка 67, 164
- Южно-Тиманское 106
 Южно-Уральский 265, 298, 308
 Южно-Якутский 262, 263, 264, 278, 308, 388
 Южно-Янгиканское 375
 Юкспор 231, 383
 ЮУБР 106, 152
- Язовское 109, 237
 Яковлевское 74, 121, 123
 Ярославское 164
 Яхтонское 374
- Бассейные и месторождения
зарубежных стран**
 Агуачили (Мексика) 190
 Адзума (Япония) 63, 236

Адирондак (США) 44, 120
Азгур (Марокко) 70, 145
Айнак (Афганистан) 83, 158, 378
Айрон-Спрингс (США) 120
Акенобе (Япония) 62, 163
Аллегейтор-Риверс (Австралия) 186
Альмаден (Испания) 84, 176
Альтенберг (ГДР) 67, 164
Амброзия-Лейк (США) 187
Ангуран (Иран) 84, 171
Аппалачский (США) 298
Асарел (НРБ) 155
Атолия (США) 103, 146

Банат (СРР) 70, 120, 156
Банка (Индонезия) 103, 146, 165
Баомукан (Сьерра-Леоне) 180
Баучи (Нигерия) 165
Баюнь-Обо (КНР) 194
Бая-Маре (СРР) 175
Баянмод (МНР) 67
Бая-Спрые (СРР) 175
Бвабин (Бирма) 103, 146
Бендиго (Австралия) 58, 180
Берд-Ривер (Канада) 161
Берник-Лейк (Канада) 191
Бингем (США) 59, 144, 155, 375
Бисби (США) 157
Бихар (Индия) 121
Бишоп (США) 70
Блайн-Ривер (Канада) 74, 181, 186
Блек-Лейк (Канада) 61, 215
Блю-Спек (Австралия) 174
Бляйберг (Австрия) 171
Бока (Гвинея) 149
Болеслав (ПНР) 84, 171
Боливар-Потоси (Боливия) 379
Болиден (Швеция) 58, 80, 157, 180
Большое Соленое Озеро (США) 188
Бор (СФРЮ) 59, 80, 157
Борейро-де-Араша (Бразилия) 191
Босс-Маунтин (Канада) 59, 143
Боудвин (Бирма) 60, 170
Брокен-Хилл (Австралия) 378
Бу-Беккер (Марокко) 171
Бушвельд (ЮАР) 43, 44, 49, 138, 373
Бушвельдский массив (ЮАР) 131, 184

Ваньшань (КНР) 84, 176
Великая Дайка (Зимбабве, ЮАР), 43, 131, 184, 373
Верхнее оз. (США) 74, 121, 123
Верхнесилезский (ПНР) 307
Веста-Шаста (США) 170
Вестфальская провинция (ФРГ) 262
Вета-Мадре (Мексика) 182
Витватерсранд (ЮАР) 74, 181, 186
Вольфрам Кемп (Австралия) 67

Воси (КНР) 174
Вэлли-Копер (Канада) 144, 155

Гара Джебилет (Алжир) 124
Гравеллот (ЮАР) 174
Гресс-Велли (США) 180
Гулеман (Турция) 132
Гэз-Хилс (Канада) 187

Джабель-Аджа (Тунис) 174
Джадугуда (Индия) 186
Джеффри (Канада) 61, 215
Джос (Нигерия) 165
Дилль (ФРГ) 81, 124
Долорес (Мексика) 156
Дорова (Зимбабве) 118
Дуранга (Мексика) 62, 163
Дьендешороши (ВНР) 167

Жакобина (Бразилия) 186

Зальциттер (ФРГ) 91

Идрия (СФРЮ) 63, 175
Иеллоу-Пайн (США) 175
Изянси (КНР) 143
Иллинойс (США) 297
Инсизва (ЮАР) 49, 138
Ислаим (Алжир) 63
Итомука (Япония) 63, 175

Калахари (ЮАР) 373
Калгурли (Австралия) 49, 103, 180, 181
Каледония (Куба) 132
Калун (Гвинея) 124
Камбалда (Австралия) 138
Камото (Заир) 83, 158
Квеста (США) 59, 143, 375
Квеста-1 (США) 375
Кидд-Крик (Канада) 80, 157
Кинта (Малайзия) 165
Кирунавара (Швеция) 232
Китс (Канада) 187
Кишу (КНР) 375
Клаппа (Индонезия) 164
Клева (Швеция) 138
Клей (США) 208
Клейтон-Велли (США) 188
Клинтон (США) 105
Клифтон (США) 70, 156
Кляймакс (США) 59, 144, 155, 375
Кнабен (Норвегия) 59, 143
Кобальт (Канада) 59, 140
Колана (Мали) 180
Колар (Индия) 58, 180
Комсток (США) 63, 180
Копиано (Чили) 63, 236
Корнуолл (Великобритания) 59, 162, 380

Крипл-Крик (США) 63, 180
Крофти (Великобритания) 60, 162
Куруман (ЮАР) 373

Лабрадор (Канада) 121
Лагоа-Реал (Бразилия) 186
Лак-Тю (Канада) 135
Лан (ФРГ) 81, 124
Лаочан (КНР) 164, 165
Ледвилл (США) 167
Леккон (Норвегия) 80
Лиденбург (ЮАР) 184
Лиму (КНР) 67, 164
Лимузен (Франция) 186
Ллалагуа (Боливия) 62, 163
Лост-Ривер (США) 67, 164
Лотарингский (Франция) 105, 125
Лоуренс (США) 71, 168
Люлекоп (ЮАР) 118
Ляндушань (КНР) 59, 143

Мадан (НРБ) 60, 167
Мажарово (НРБ) 379
Майданпек (СФРЮ) 144, 155
Мак-Дермит, Мак-Дермит-Опалит
(США) 63, 175
Малин (Франция) 171
Манано-Китотоло (Заир) 161, 165
Мансфельд (ГДР) 83, 158, 378
Материнская Жила (США) 61, 180
Маунтин-Пасс (США) 194
Маунт-Плезант (Канада) 60, 162
Маучи (Бирма) 67, 164, 375, 380
Мацуо (Япония) 63, 236
Машаба (Зимбабве) 61, 215
Мвадуи (Танзания) 203
Медет (НРБ) 59, 144, 155
Межица (СФРЮ) 84, 170
Менсон-Лод (Малайзия) 162
Мешери Абделази (Алжир) 124
Минас-Жерайс (Бразилия) 123
Миссисипи-Миссури (США) 171
Моа (Куба) 124
Моанда (Габон) 129
Моатиз (Мозамбик) 325
Монте-Амиата (Италия) 63, 175, 176
Монтебрас (Франция) 67
Морру-Велью (Бразилия) 180
Мусоши (Заир) 83, 158
Мэрисвейл (США) 70, 186
Мэри Кэтлин (Австралия) 186

Нагиаг (СРР) 63, 180
Намойя (Заир) 180
Нейрни (Австралия) 170
Нижнесилезский (ПНР) 297
Нимба (Либерия) 121
Ном (США) 181
Нчанга (Замбия) 83, 158, 159

Нюшило (КНР) 103, 146, 165
Нью-Альмаден (США) 174, 175
Нью-Амиантус (США) 61, 215
Нью-Идрия (США) 174

Олимпик-Дам (Австралия) 187
Олькуш (ПНР) 84, 171, 378
Орисси (Индия) 121
Оруро (Боливия) 163

Пайн-Крик (США) 145
Пайн-Пойнт (Канада) 84, 171
Палабора (ЮАР) 211, 232
Панч-Махал (Индия) 373
Пассагейм (Бразилия) 180
Пачука (Мексика) 182
Пезинок (ЧССР) 174
Пейне-Илседе (ФРГ) 91
Перак (Малайзия) 165
Перетта (Италия) 176
Пори (Финляндия) 138
Поркьюпайн (Канада) 180
Порт Радий (Канада) 186
Потоси (Боливия) 62, 163, 164
Предсудетское (ПНР) 83, 158, 159
Пршибрам (ЧССР) 60, 167, 379
Пуи-Пуи (Новая Зеландия) 63, 175
Пяотан (КНР) 67

Раббит-Лейк (Канада) 186, 187
Раммельсберг (ФРГ) 81, 170
Ред-Роуз (Канада) 59, 143
Рейнджер (Австралия) 187
Рениссон-Белл (Австралия) 162
Реосин (Испания) 171
Рио-Тинто (Испания) 80, 81, 157, 170, 171, 378
Риф (Марокко) 120
Роан-Антилоп (Замбия) 83, 158
Россинг (Намбия) 186
Руен (НРБ) 60, 167
Рурский (ФРГ) 297, 298
Рыбново (НРБ) 84, 176

Саарский (ФРГ) 297
Садбери (Канада) 59, 138, 139, 378
Сала (Швеция) 168
Сан-Антонио (Мексика) 164
Санг-Донг (Южная Корея) 145, 146, 375
Санта-Люсия (Куба) 81, 170
Сан-Хозе (Мексика) 176
Сары-Чешме (Иран) 155
Седмочисленица (НРБ) 378
Серлс (США) 188
Серро-Асперо (Аргентина) 68
Сильвер-Хилл (США) 161
Синьхуаньшань (КНР) 67, 84, 176

Солар-де-Атакама (Чили) 188
Соскачеванский (Канада) 227
Спер-Маунтин (США) 190
Стиллаутер (США) 138
Страсфуртский (ФРГ) 227
Страсфуртское (ГДР) 105
Сукулу (Уганда) 118
Сулливан (Канада) 170
Сульфур-Бенк (США) 175

Таберг (Швеция) 44, 117
Тегавус (США) 117, 135
Текгер (Турция) 175
Телнесс (Норвегия) 44, 117
Террангтон (Австралия) 67
Тинтик (США) 60, 167
Тин-Тук (СРВ) 165
Тован-Толгай (МНР) 307
Токепала (Перу) 144, 155
Томпсон (Канада) 59, 138
Трепча (СФРЮ) 71, 168, 379
Тумен-Цокто (МНР) 143

Уванджи (Танзания) 135
Укинга (Танзания) 135

Фалун (Швеция) 81, 170
Фе (Испания) 187
Флин-Флон (Канада) 379
Фрайберг (ГДР) 60, 379
Франклин (США) 71

Хабертон (Австралия) 374
Халимба (ВНР) 377

Хамерсли (Австралия) 74, 121
Хейда (Бирма) 103, 146

Циновец (ЧССР) 164

Чамбиши (Замбия) 83, 158
Чилкобийя (Боливия) 174
Чукикамата (Чили) 59, 144, 155, 156, 375

Шабани (Зимбабве) 61, 215
Шаканаи (Япония) 170
Шанпин (КНР) 59, 143
Шанси (КНР) 307

Эздемир (Турция) 174
Эллиот-Лейк (Канада) 186
Эль-Абед (Алжир) 171
Эль-Оро (Мексика) 180
Эль-Потоси (Мексика) 168
Эль-Сальвадор (Чили) 378
Эль-Сантин (Мексика) 62
Эль-Таниенте (Чили) 155
Эндако (Канада) 155, 375
Эргани (Турция) 80, 157, 170, 379
Эрденет (МНР) 144, 155

Югодзыр (МНР) 67
Юнайтед-Верде (США) 80, 157

Ягука (Япония) 156
Якупиранга (Бразилия) 232
Янцзы-Чжанзы (КНР) 375

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
Часть I. Общие сведения о месторождениях полезных ископаемых . . .	11
Основные понятия и определения	11
Морфология и условия залегания тел полезных ископаемых	15
Вещественный состав полезных ископаемых	21
Геологические условия образования месторождений полезных ископаемых	29
Часть II. Генетические типы месторождений полезных ископаемых . . .	41
Магматические месторождения	41
Пегматитовые месторождения	50
Гидротермальные месторождения	55
Контактово-метасоматические месторождения	64
Метаморфизованные и метаморфические месторождения	72
Вулканогенно-осадочные месторождения	77
Гидротермально-осадочные (стратиформные) месторождения	81
Месторождения выветривания	85
Осадочные месторождения	95
Часть III. Металлические полезные ископаемые	113
Железо	115
Марганец	126
Хром	130
Титан	133
Никель и кобальт	135
Вольфрам и молибден	141
Алюминий	146
Медь	153
Олово	160
Свинец и цинк	166
Сурьма и ртуть	172
Золото	178
Серебро	181
Металлы платиновой группы	183
Уран	185
Литий	187
Бериллий	188
Тантал и ниобий	190
Редкоземельные элементы	192
Часть IV. Неметаллические полезные ископаемые	195
Драгоценные, поделочные и технические камни	198
Графит	207
Слюда	210
Асбест	213
Тальк	217
Флюорит	219
	399

Магнезит и брусит	221
Цеолиты	223
Минеральные соли	226
Фосфатное сырье	229
Серное сырье	234
Диатомиты, трепелы, опоки	239
Естественные каменные строительные материалы	243
Карбонатные породы	246
Песок и песчано-гравийные материалы	248
Глины и каолины	252
Часть V. Твердые горючие ископаемые	252
Общие сведения	252
Основные показатели качества, состава и свойств горючих ископаемых	278
Классификация и основные направления использования углей	283
Морфология угольных пластов	294
Угленосная толща	297
Общая характеристика угольных месторождений	309
Часть VI. Разведка и геолого-промышленная оценка месторождений полезных ископаемых	309
Система геологического изучения недр	311
Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых	316
Геологическая съемка и поиски	318
Разведка месторождений полезных ископаемых	358
Геолого-промышленная оценка месторождений	370
Особенности разведки месторождений полезных ископаемых различных промышленно-генетических типов	390
Список рекомендуемой литературы	391
Указатель бассейнов и месторождений	391

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Ершов Вадим Викторович, Еремин Иван Васильевич,
Попова Галина Борисовна и др.

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Заведующий редакцией *В. А. Крыжановский*

Редактор издательства *Т. П. Мыскина*

Технические редакторы *С. С. Басипова, Л. Г. Лаврентьева*

Корректор *Л. В. Сметанина*

ИБ № 7436

Сдано в набор 09.02.89. Подписано в печать 28.06.89. Т-06653. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага книжно-журнальная. Гарнитура Литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 25,0. Усл. кр.-отт. 25,0. Уч.-изд. л. 26,80. Тираж 9430 экз. Заказ № 370/1438—2. Цена 1 р. 20 к.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 125047, Москва,
пл. Белорусского вокзала, 3.

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14.