А.Б. Байбатша

ГЕОЛОГИЯ
месторождений
Полезных ископаемых

Алматы 2008

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХАСТАН**

**Казахский национальный технический университет
имени К.И. Сатпаева**

А.Б. Байбатша

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Рекомендовано Министерством образования и науки
Республики Казахстан в качестве учебника

Алматы 2008

УДК 555.3/.9 (075.8)
ББК ……

Байбатша А.Б. Геология месторождений полезных ископаемых: Учебник. – Алматы: КазНТУ, 2008. – 368 с.

ISBN……

Приведены сведения о месторождениях полезных ископаемых, вещественном составе, морфологии и условиям залегания тел полезных ископаемых. Дана генетическая и промышленная классификация месторождений, описаны процессы их образования и приведены примеры. Для каждого вида полезных ископаемых рассмотрены важнейшие свойства, промышленные минералы, области применения, запасы, цены геологические условия металлических, неметаллических и горючих ископаемых. Приведена краткая информация о всех видах полезных ископаемых Казахстана.

Для студентов вузов специальностей «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» и «Горное дело».

Ил. 85. Табл. 14. Библ. – 17 назв.

ББК ……

Рецензенты: *Х.А. Беспаев*– зав.лаб. института геологических наук им. К.И. Сатпаева, д-р геол.-минерал. наук, проф.;
А.А. Жунусов– зав.каф. «Геология нефти и газа» Каспийского общественного университета, к.г.-м.н., проф.;
Р.Г. Жилинский – профессор каф. ОГМП КазНТУ, д-р геол.- минерал. наук.
Отв. редактор– *Кулкашев Н.Т.*, канд. геол.-минерал. наук, доцент каф. ГСПиРМПИ КазНТУ.

Печатается по плану издания Министерства образования и науки Республики Казахстан на 2008 г.

ISBN……

© Байбатша А.Б.
© КазНТУ, 2008

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современный период экономического и социального развития Казахстана ставит перед геологической отраслью задачи укрепления и расширения минерально-сырьевой базы страны, повышения эффективности и качества подготовки к освоению разведанных запасов полезных ископаемых. И этим обусловлено значение геологии в научно-техническом прогрессе горно-добывающей промышленности, в охране и рациональном использовании недр и природы в целом. Геологическое образование является одним из важнейших элементов подготовки современного инженера, способного при постоянно усложняющихся горно-геологических условиях успешно решать проблемы хозяйственного освоения недр Земли.

Казахстан занимает первое место в мире по запасам урановой руды и вольфрама, второе – хромовой руды, третье – марганца, четвертое – меди, седьмое – золота, входит в первую десятку стран мира по запасам углеводородов, известно более 300 месторождений каменных и бурых углей с разведанными запасами около 60 млрд. т.

В структуре экономики Казахстана минерально-сырьевой комплекс занимает ведущее положение. На базе разведанных запасов полезных ископаемых действуют десятки нефтегазодобывающих и горно-рудных предприятий, на которых добывается и перерабатывается более 70 различных видов минерального сырья.

В Казахстане открыто и разведано более 2270 месторождений рудных, горючих и неметаллических полезных ископаемых, в том числе несколько десятков уникальных и крупных: Кашаган, Тениз, Узень, Карашыганак (*нефть, газ, конденсат*); Карагандинский, Екибастузский, Майкюбенский, Торгайский бассейны (*уголь*); Соколовское, Сарбайское, Кашарское, Аятское, Лисаковское (*железо*); Западный Каражал, Ушкатын III, Актай, Жезды (*марганец*); Кемпирсайская группа месторождений (*хромиты*); Баласауыскандык, Корамсак, Жабагылы (*ванадий*); Обуховское, Шокашское, Караоткельское (*титан*); Жезказган, Коунрад, Актогай, Айдарлы, им. 50 лет Октября, Приорское (*медь*); рудноалтайские – Риддер-Сокольное, Николаевское, Зыряновское, Тишинское, Новолениногорское и др., атасуские – Жайрем, Ушкатын и др. и каратауские – Ащысай, Шалкия полиметаллические месторождения (*свинец, цинк, барий*); Новобурановское, Ангренсор-

ское, Богеткольское, Шырпакаинское (*никель, кобальт*); Краснооктябрьское, Белинское, Восточно-Аятское, Коктальское, Наурзумское (*бокситы*); Акшатау, Катпар Северный, Караоба, Верхнее Кайракты, Бугыты, Коктенколь (*вольфрам, молибден*); Сырымбет, Донецкое (*олово*); Бакенное, Белогорское (*тантал*); Жолымбет, Бестобе, Бакыршык, Юбилейное, Акбакай, Васильковское (*золото*); Мынкудук, Инкай, Буденновское, Уанас, Торткудык, Моинкум, Ирколь, Карамурун, Харасан, Маныбай, Косашинское, Заозерное, Грачевское, Семизбайское, Меловое (*уран*); Каратауский и Актобинский бассейны (*фосфориты*); Ансайское, Шиганакское (*бариты*); Ауртас (*барит-целестиновое*); Таскайнар, Куланкетпес (*флюорит*); Алтынтасское (*вермикулит*); Кулетское (*слюда–мусковит*); Житыгаринское, Богетысайское, Ушбулак (*асбест*); Босагинское, Сюрприз (*волластонит*); Алексеевское, Елтайское, Союзное (*каолины*); Дарбазинское, Алаботинское (*бентониты*); Сухановское, Берлинское (*огнеупорные глины*); Шанканай, Тайжузгенская группа (*цеолиты*); Кумдыкольское (*технические алмазы*); Семизбугы (*абразивы – корунд*); Актас, Кент, Надырбай, Кызыл-Бельдеу (*оптические материалы*); Сарыкулболды, Итмурындинское, Акмамедбулак, Пстан, Каратауское и др. (*драгоценные и поделочные камни*); Кубрексайское, Черногорское, Жайсанское, Белокаменное и др. (*минеральные краски*); Индерское, Сатимола, Жылан (*бораты, магниевые и калийные соли*); Сарыагашское, Капал-Арасанское, Белогорское, Ералиевское, Алма-арасанское, Жеменейское, Косалинское и др. (*минеральные воды*).

Казахстан обладает также огромными запасами различных строительных материалов (*облицовочные камни, цементное, керамзитовое, камнелитейное сырье, гипс, ангидрит и др.*).

Геология всесторонне изучает природную среду, к которой приурочено горно-добывающее производство. Освоение минеральных ресурсов недр становится невозможным без знания и учета природных условий разработки месторождений полезных ископаемых.

В учебнике последовательно рассматриваются общие сведения о полезных ископаемых, факторы и условия, определяющие горно-геологические условия их освоения, приведена унифицированная генетическая и промышленная систематика месторождений, а также состояние и вопросы использования сырьевой базы различных твердых полезных ископаемых – металлических, неметаллических и горючих.

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 структурная геология, геодинамика и 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 результатов. Учение о месторождениях полезных ископаемых является геолого-экономической наукой, поскольку каждое месторож-

дение на всех стадиях освоения – от поисков и разведки до эксплуатации – должно получить достоверную 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.

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.

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. Но несмотря на это, уже в работах среднеазиатских ученых Ибн Сины (Авиценны), аль-Бируни и других появлялись сведения о месторождениях полезных ископаемых.

В Европе более полные сводные данные о месторождениях были собраны в средние века. В это время совершенствуется техника горных работ и выплавка металлов. 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. Поле него в России серьезное значение имели исследования И.И. Лепехина,

Н.Я. Озерцковского, М.Е. Головина, 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 гг. XIX в. 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 м

есторождениях полезных ископаемых в это время играли А.П. Карпинский, по праву названный «отцом русской геологии», Е.С. Федоров, К.И. Богданович, В.А. Обручев, Н.К. Высоцкий, И.В. Мушкетов, Ф.Н. Чернышев, Л.И. Лутугин, П.И. Степанов, труды которых сохранили свое значение до настоящего времени. Из зарубежных исследований большое значение имели работы Ф. Пошепного, П. Ниггли, В. Линдгрена, В. Эммонса, Х. Фогта и др.

Советский период, характеризующийся небывалым подъемом экономики страны, обеспечил интенсивное развитие геологии и учения

о месторождениях полезных ископаемых на основе реализации программы индустриализации народного хозяйства, 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, проведших 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. Татаринова, М.А. Усова и др. за короткий срок созданы основы современной науки о геологии, поисках и разведке месторождений полезных ископаемых. Это и обеспечило нашей стране одно из ведущих мест в мировой науке о полезных ископаемых, позволило создать прочную минерально-сырьевую базу для всех отраслей народного хозяйства.

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

Казахстанская геология зародилась и развивалась как часть российской, а в настоящее время превратилась в мощную сферу деятельности. Ещё в 1920-е годы молодые геологи Мергали Кадильбеков и Каныш Сатпаев открыли ряд крупных месторождений цветных металлов и других полезных ископаемых. В 1950-е годы под руководством академика К.И. Сатпаева было создано новое направление в геологии – *металлогения*, которая в последующем плодотворно развивалась. Огромный вклад в геологию в несли казахстанские учёные-геологи К.И. Сатпаев, Р.А. Борукаев, Ш.Е. Есенов, А.К. Каюпов, И.И. Бок, Г.Ц. Медоев, Г.Л. Кушев, Е.Д. Шлыгин, С.Г. Анкинович, Е.А. Анкинович, и др. В настоящее время в стране известно более 2270 месторождений и проявлений (кроме стройматериалов), которые показаны на карте «Полезные ископаемые Казахстана» 1:1 000 000 масштаба и приведены в пояснительной записке к ней (2003 гг.).

Значение учения о полезных ископаемых. Любое месторождение полезных ископаемых представляет собой предмет труда и объект горного производства. Масштаб запасов, условия залегания и морфология тел полезных ископаемых в значительной степени обусловлива-

ют 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.

Методы изучения полезных ископаемых. 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. Какие основные теоретические и практические задачи учения о месторождениях полезных ископаемых?
2. Как учение о месторождениях полезных ископаемых связано с фундаментальными геологическими и горными науками?
3. Какова характеристика 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 ВОПРОСЫ

1. СВЕДЕНИЯ О МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

1.1. Основные понятия и их 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.

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, ванадий);
- 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), редких земель (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), индустриальное (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 и каменный уголь, антрацит, горючие сланцы, нефть, горючий газ. Они служат 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. По количеству компонентов различают руды монометалльные, биметалльные и полиметалльные.

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.

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

1.2. 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.

Понятие «морфология тел полезных ископаемых» включает в себя:

1) формы тел;

2) характер и форму контактов с вмещающими породами;

3) характер выклинивания;

4) мощность и ее изменчивость;

5) условия залегания;

6) выдержанность оруденения;

7) соотношение с вмещающими породами по времени образования;

8) соотношение с элементами структур и условиями залегания вмещающих пород;

9) глубину залегания и распространения;

10) степень и характер нарушенности пострудными тектоническими процессами.

Формы тел. 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. 1.1).

Штоком называется крупная (более 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.

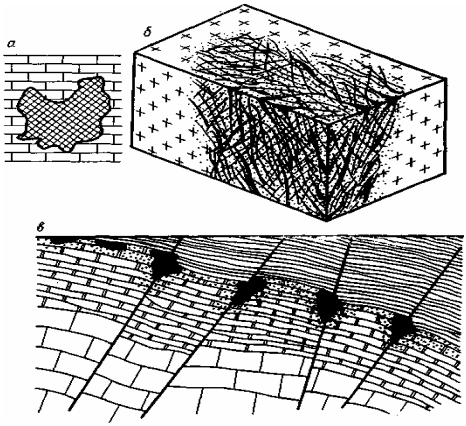


Рис. 1.1. Формы изометричных тел полезных ископаемых:
а – шток (план); б – штокверк; *в* – гнезда (разрез)

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.

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

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

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, близкие по форме к пластам, принято называть *пластообразными залежами.*

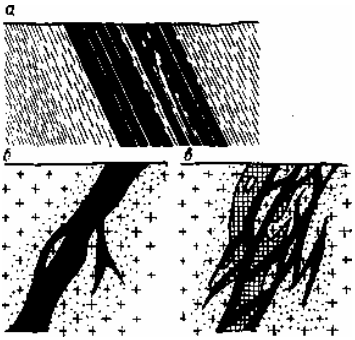


Рис. 1.2. Формы плитообразных (плоских) тел полезных ископаемых:
а – сложный пласт;
б – простая жила;
в – сложная жила

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

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, подразделяются на простые и сложные. К простым относятся одиночные минерализованные трещины, к сложным – системы переплетающихся трещин, зон дробления, рассланцевания (рис. 1.2 *б, в*).

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

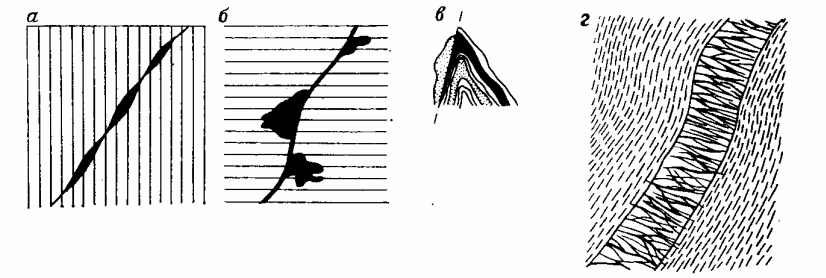


Рис. 1.3. Формы жильных тел полезных ископаемых:
а – четковидная, б – камерная; в – седловидная; г – лестничная

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 вдоль одной оси. Поперечное сечение таких тел может быть изометричным, эллиптическим, линзообразным (рис. 1.4).

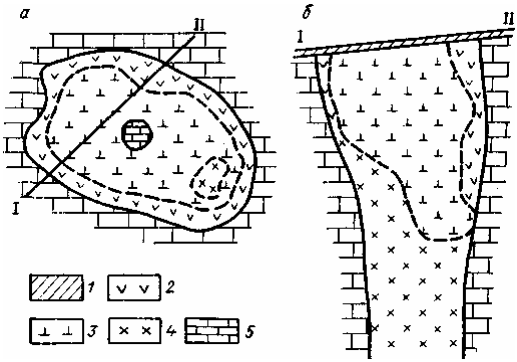


Рис. 1.4. Трубообразное тело: *а* – геологический план, б – разрез кимберлитовой трубки (по *А.П. Бобриевичу): 1* – наносы; *2–4* – кимберлит:
2 – измененный желтый, *3* – измененный зеленый, *4* – малоизмененный;
5 – вмещающие породы

Морфология и условия залегания трубообразных тел определяются углом погружения (или ныряния), длиной по направлению погружения и площадью поперечного сечения. Угол погружения – это

угол между осью трубообразного тела и горизонтальной плоскостью; он может изменяться от 0 до 90°. Размеры поперечного сечения и длина оси достаточно изменчивы.

На месторождениях полезных ископаемых трубообразные тела встречаются довольно редко. Наиболее типичные представители их – алмазоносные трубки взрыва.

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

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

Мощность полезного ископаемого, как и горных пород, – это расстояние между кровлей (висячим контактом) и подошвой (лежачим контактом). Мощность может быть *истинной* (кратчайшее расстояние) и *видимой* (любое расстояние между кровлей и подошвой).

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

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

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

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

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

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

1) выдержанные – в пределах тела полезного ископаемого по всей его площади (и мощности) участки, не содержащие промышленных концентраций полезного ископаемого, практически отсутствуют;

2) относительно выдержанные – в пределах рабочего контура присутствуют участки с непромышленным оруденением или вообще безрудные, но общая площадь таких участков не превышает 25 % всей площади тела полезного ископаемого;

3) невыдержанные – внутри рабочего контура участки с нерабочей мощностью или пустыми породами)занимают 25–50%;

4) крайне невыдержанные – площадь некондиционных участков или пустой породы составляет более 50 % от площади всей залежи.

Выдержанность оруденения может также характеризоваться площадным или объемным коэффициентом рудоносности (*Кр*): выдержанные *Кр* более 0,9; относительно выдержанные *Кр*=0,9–0,75; невыдержанные *Кр*=0,75–0,5 и крайне невыдержанные *Кр* менее 0,5.

По возрастному соотношению с вмещающими породами различают две группы рудных тел (и месторождений): сингенетические и эпигенетические (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Классификация форм тел полезных ископаемых

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

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

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

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

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

Эпигенетические тела по этому признаку разделяются на три группы:

1) согласные или почти *согласные с элементами слоистости* вмещающих пород (минерализованные пласты, тела гидротермально-осадочных и инфильтрационных месторождений);

2) несогласные с напластованием окружающих пород, но *согласные с контактными поверхностями* пород различного состава или генезиса (тела в стратифицированных интрузиях, скарнах, остаточные месторождения выветривания и др.);

3) несогласные с напластованием окружающих пород или залегающие в неслоистых породах, но *согласные с условиями залегания* или *положением рудовмещающих структур* (тектоническими трещинами определенного порядка, пересечением трещин друг с другом или с замковыми частями складок и др.).

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

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

Тела полезных ископаемых любой формы иногда нарушены постминерализационными тектоническими деформациями, усложняющими первоначальную структуру месторождения и нередко вызывающими серьезные трудности при разведке.

1.3. Качественные характеристики полезных ископаемых

Качество минерального сырья характеризуется рядом свойств, которые определяют его соответствие назначению (области использования), сохраняемость и технологичность.

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

Качество горно-рудного сырья определяется содержанием полезных минералов и совокупностью показателей, характеризующих их специфические свойства, которые устанавливают возможности и условия промышленного использования. Такими свойствами для различных видов минерального сырья являются: окраска, отсутствие дефектов кристаллической структуры, масса алмазов; гибкость, длина волокна и кислотоупорность асбеста и др.

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

Понятие «качество полезного ископаемого» включает в себя следующий комплекс разнообразных показателей:

1) вещественный (минеральный и химический) состав;

2) структурно-текстурные характеристики;

3) содержание основных, сопутствующих и вредных компонентов;

4) распределение ценных и вредных компонентов в объеме месторождения или тела полезного ископаемого;

5) физико-механические и физико-химические свойства. Вещественный состав металлических и неметаллических руд определяется соотношением рудных или ценных и сопутствующих им нерудных или

жильных минералов. В металлических рудах рудные минералы являются носителями ценных металлов, 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;

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 генезиса, 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 следующие сорта: 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 на-

правлениях 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, обусловливают 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 микротекстуру. Первая характеризует крупные по площади минеральные агрегаты, взаимоотношения между которыми изучаются в естественных или искусственных обнажениях. Макроструктура различается визуально в отдельных штуфах полезного ископаемого. Микротекстура наблюдается под микроскопом.

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

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

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

Полосчатая текстура и ее разновидности – *ленточная, слоистая, линзовидная, плойчатая, 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 плойчатая – метаморфогенным, гребенчатая (крустификационная) и поточная (флуктуационная) – магматогенным.

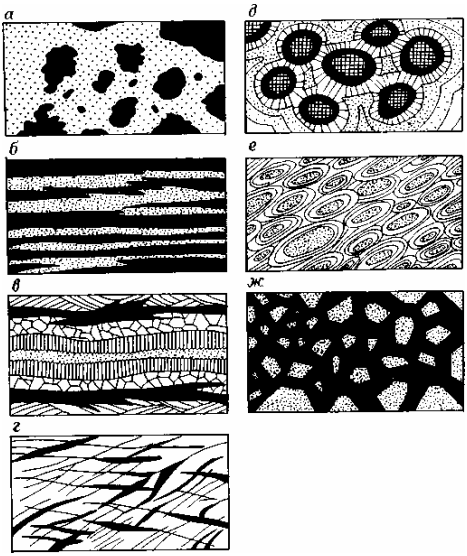


Рис. 1.5. Типы текстур полезных ископаемых (по *В.И. Смирнову):*
а – пятнистая;
б – полосчатая;
в – крустификационная;
г – прожилковая;
д – кокардовая;
е – оолитовая;
ж – брекчиевая

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 осадочных. Она свойственна слабо уплотненным осадкам, сложенным обломками и зернами различного размера.

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.

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

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.

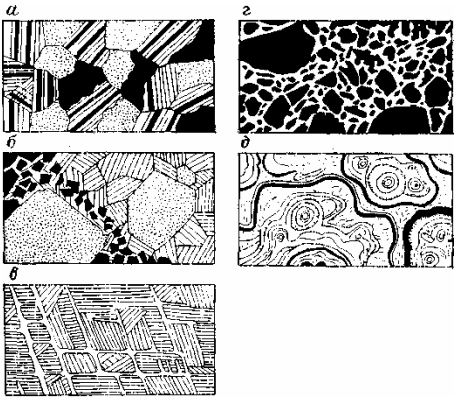


Рис. 1.6. Типы структур полезных ископаемых (по *В.И. Смирнову):* *а* – равномернозернистая; б – неравномернозернистая; *в* – кристаллографически ориентированная; г – дробления; *д* – колломорфная

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.

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

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

По содержанию основного компонента выделяются руды богатые, рядовые и бедные (убогие), но для разных видов полезных ископаемых границы сортов руд весьма различны. Например, для железа богатыми считаются руды с содержанием железа более 60 %, для меди – 3 %, олова – 1 %, золота – 10 г/т (0,00001%) и др.

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

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

К числу попутных полезных ископаемых (компонентов) относятся:

1) породы вскрыши и совместно с ними залегающие полезные ископаемые иного вида, чем слагающие основные рудные тела;

2) второстепенные рудные и нерудные минералы (пирит, сфалерит, галенит, барит и др.), извлекаемые в одноименные товарные концентраты или промпродукты, либо элементы, присутствующие в концентратах основных металлов в составе минеральных и иных примесей, извлекаемых на стадии металлургической или гидрометаллургической переработки концентратов (золото и серебро – при переработке медных и свинцовых концентратов, сера – при обжиге медных и цинковых концентратов и др.);

3) редкие и рассеянные элементы в составе рудообразующих минералов основных промышленных концентратов цветных металлов (ртуть) кадмий и индий в цинковых концентратах, галлий, рубидий, цезий – в нефелиновых концентратах и бокситах).

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

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

Контрольные вопросы и задания

1. Что называется полезным ископаемым, рудой?
2. Как разделяются полезные ископаемые по физическому состоянию и промышленному использованию?
3. Объясните, почему понятие «месторождение полезного ископаемого» является геолого-экономическим.
4. Дайте характеристику основных морфологических типов тел полезных ископаемых.
5. Какие элементы определяют форму, размеры и условия залегания изометричных, плоских и трубообразных рудных тел?
6. Какие тела (месторождения) полезных ископаемых называются сингенетическими и эпигенетическими, согласными и секущими?
7. Какие существуют типы выклинивания и контактов тел полезных ископаемых?
8. Что такое типы и сорта полезных ископаемых?
9. Что называется текстурой и структурой полезных ископаемых?
10. Дайте характеристику основных видов текстур и структур полезных ископаемых.
11. Какими показателями характеризуется качество металлических руд, горно-рудного сырья, строительных материалов?
12. Как характеризуется распределение полезных и вредных компонентов в объеме месторождения полезных ископаемых?

Часть II. УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ 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.

2. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

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.

В предлагаемой классификации (табл. 2.1) 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 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 необходимо выделение более дробных единиц классификации – классов и подклассов.

Таблица 2.1

Генетическая классификация месторождений полезных ископаемых

Серия	Группа	Класс	Подкласс
Эндогенная	Магматогенная	Магматическая	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	Не выделены
Экзогенная	Седиментогенная	Выветривания	Остаточный
			Инфильтрационный
		Осадочный	Механический
			Химический
			Биохимический

Так, магматогенные месторождения подразделяются на классы в соответствии с основными этапами эволюции и дифференциаций 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 с основными типами метаморфизма. Для седиментогенных месторождений 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 дробное подразделение месторождений проведено по минеральному составу. Выделенные типы месторождений по существу являются их промышленно-генетическими типами.

2.1. 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 складчато-геосинклинальных областей

Геосинклинали – тектонически активные участки земной коры. Этот термин в настоящее время устарел и выходит из применения. По современной теории литосферных плит (плейттектоники) к таким участкам относятся рифтовые зоны (спрединг), вулкано-плутонические островодужные зоны субдукции и зоны коллизии. Однако почти вся геологическая литература содержит старые материалы и в данном учебнике сохранены старые термины без особой модернизации. На всем протяжении развития этих мобильных геосинклинальных областей при их постепенном превращении в относительно стабильные складчатые сооружения образуются эндогенные и экзогенные месторождения многих полезных ископаемых. 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 геосинклинали 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-липаритового состава, с которыми ассоциируют вулканогенно- и гидротермально-осадочные месторождения меди, цинка, свинца, а также оксидных руд железа и марганца.

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

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

Главным фазам складчатости свойственна мощная интрузивная деятельность, приводящая к образованию батолитовых тел гранитоидного состава. Для них типичны пегматитовые, альбититовые, грейзеновые месторождения олова, вольфрама, тантала, лития, бериллия. С умеренно кислыми гранитоидами ассоциируют скарновые месторождения вольфрама и 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 от-

личается 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.

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 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 – полиметаллические 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 км^2. В ряде стран предпринимаются попытки наладить промышленную разработку этих богатейших руд.

Другой сравнительно недавно обнаруженный тип рудных проявлений – установленные в глубоководных частях океанов металлоносные горячие рассолы и полиметаллические рудные жилы, приуроченные обычно к зонам крупных разломов. В их локализации большое значение имеют 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 дешевой технологии массового извлечения их из вод морей и океанов пока не производится, хотя попытки освоения этих ресурсов уже предпринимаются во многих странах.

2.2. Геологические и физико-химические факторы условий 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 магматических горных пород.

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

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

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

Связь месторождений полезных ископаемых с магматическими породами бывает генетическая (прямая, явная) и парагенетическая. ,В первом случае магматические, пегматитовые и скарновые месторождения непосредственно ассоциируют с конкретными массивами интрузивных 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 обусловливают 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 плутоногенных гидротермальных месторождений, скарновых месторождений железа и меди, а также магматических месторождений сульфидных медно-никелевых руд и карбонатитов.

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

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

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

Температура и давление. Месторождения полезных ископаемых формируются в локальных участках земной коры – рудообразующих системах, важнейшими термодинамическими параметрами которых являются температура и давление. Температурный интервал становления различных месторождений достаточно широк – от 0–50 °С для экзогенных и до 800–900 °С и даже 1200–1300 °С 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 (МПа), 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 углекислоты, серы, химическая активность ионов.

2.3. 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.

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.

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 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. Каковы характеристики геологических факторов, определяющих условия образования и размещения месторождений полезных ископаемых?
5. Какие глубинные зоны формирования месторождений полезных ископаемых выделяются. Какие типы месторождений формируются в различных зонах?
6. Какие физико-химические параметры определяют условия образования полезных ископаемых?
7. Каковы источники вещества и способы его отложения при формировании полезных ископаемых?

3. МАГМАТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

3.1. Условия образования

Магматические месторождения формируются в процессе дифференциации и кристаллизации рудоносной магмы ультраосновного, основного или щелочного состава при высокой температуре (1500–700 °С), высоком давлении и на значительных глубинах (3–5 км и более). Основным источником рудообразующих элементов магматических месторождений является, видимо, вещество верхней мантии Земли.

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 смеси – 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.

В начале ликвации сульфидная смесь принимает форму мелких каплевидных шариков, рассеянных в силикатной массе. Шарики сливаются 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 хромита, металлов платиновой группы, алмазов, редкометалльных (циркон) и редкоземельных (монацит) минералов. 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.

Позднемагматические месторождения формируются из остаточного рудного расплава, в котором концентрируется основная масса ценных компонентов. В месторождениях данного типа первыми кристаллизуются породообразующие 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 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 интрузивных 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.

3.2. Типы месторождений

Раннемагматические месторождения

Для раннемагматических месторождений, образующихся в ранний период кристаллизации магмы, почти одновременно с вмещающими интрузивными породами характерны следующие особенности:

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

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

3) преимущественно вкрапленные текстуры и кристаллически зернистые структуры руд.

К этому классу принадлежат зоны вкрапленности и шлирообразные

скопления хромитов в перидотитовых и дунитовых расслоенных интрузивах (*Ключевское месторождение на Урале, Бушвельд и Великая Дайка в Южной Африке*), а также титаномагнетитовые руды в габброидах и графитовые месторождения в щелочных породах (*Ботогольское в Восточном Саяне, месторождения Канады, Испании, Австралии*).

Главным представителем промышленных раннемагматических месторождений считаются коренные месторождения алмазов в кимберлитах. Они приурочены к активизированным зонам древних платформ – Сибирской (Якутия), Африканской (ЮАР, Танзания, Конго), Индийской, Австралийской и др.

Всего на земном шаре выявлено более 1600 кимберлитовых трубок, но только часть их алмазоносна. 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. Среднее содержание алмазов в кимберлитах не превышает 0,5 кар. (1 карат = 0,2 г) на 1 $м^3$ 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 (*Таберг*), США, Канаде;

3) платиновые в дунитах, перидотитах и пироксенитах – на Урале (*Нижне-Тагильское*), в ЮАР (*Бушвельд*);

4) 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.

Месторождения титаномагнетитов чаще всего генетически связаны с габбро-пироксенит-дунитовыми массивами. Рудные тела, размещение которых контролируется элементами протомагматической тектоники и более поздними разрывными нарушениями (рис. 3.1), имеют форму жил, линз, гнезд, шлиров.

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

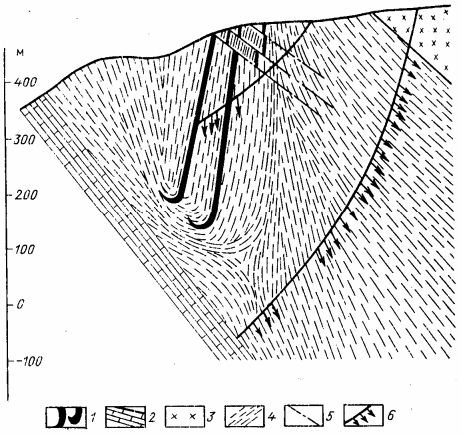


Рис. 3.1. Тектонический контроль размещения оруденения (разрез Кусинского месторождения по *Д.С. Штейнбергу):*
1–сплошной титаномагнетит;
2–карбонатные породы;
3–гранито-гнейсы;
4–габброамфиболиты;
5–тектонические нарушения;
6–скважины и направления структурных элементов

Апатит-нефелиновые месторождения генетически связаны с массивами щелочных пород. Уникальными среди них считаются месторождения Хибинского щелочного массива на Кольском полуострове.

Массив относится к платформенным образованиям и имеет форму лополита конического строения, залегающего среди древних гнейсов и сланцев. Он сформировался в результате последовательного внедрения хибинитов, нефелиновых сиенитов и пород ийолит-уртитового ряда. С последними генетически и пространственно связаны наиболее крупные залежи апатитовых руд, создающие в плане кольцо крупных линз.

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

Особый тип позднемагматических образований составляют ***карбонатитовые*** месторождения. Большинством 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. Они известны в Карелии, на Кольском полуострове, в Восточной Сибири, Приморье США, Канаде, Бразилии, ФРГ, Швеции, Норвегии, Финляндии, Гренландии, Австралии, Индии, Афганистане, Африке.

Интрузивы имеют концентрически-зональное строение. Это могут быть штоки, в также 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 мета-соматически измененных пород (фенитов).

Залежи карбонатитов образуют штоки, конические дайки и радиальные дайки (рис. 3.2). Размеры рудных тел различные: поперечное сечение штоков от нескольких сотен метров до 10 км, длина даек по простиранию – от сотен метров до 1–2 км.

Карбонатиты имеют весьма важное промышленное значение. С ними связаны основные ресурсы тантала, ниобия, редких земель, существенные запасы титана, железных руд, флюорита, флогопита, апатита и др.

С карбонатитами связаны апатит-магнетитовые, флогопитовые, а также месторождения редких металлов и редкоземельных элементов (США, Канада, Бразилия, Африка).

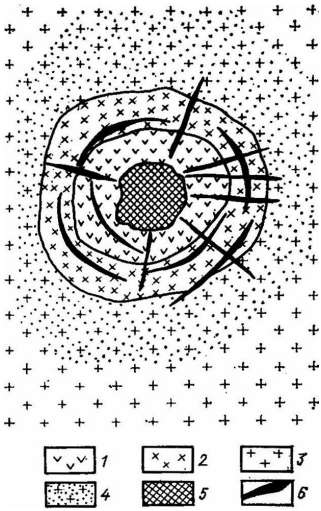


Рис. 3.2. Схема геологического строения карбонатитового месторождения: 1 – щелочные породы; 2 – ультраосновные породы; 3 – гнейсы; 4 – метасоматически измененные сланцы; 5-6 – карбонатиты: 5 – шток; 6 – жилы (дайки)

Ликвационные месторождения

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

Рудоносные массивы представлены лополитами, пластовыми и сложными залежами, а их размещение контролируется глубинными разломами и синклинальными структурами осадочного чехла платформ. Протяженность интрузий измеряется километрами, а мощность – десятками метров. Вмещающими для интрузий являются осадочные и вулканогенно-осадочные породы. Интрузивы, несущие оруденение, как правило, расслоены и более кислые породы сменяются более основными сверху вниз.

Месторождения приурочены преимущественно к нижним дифференциатам интрузий. По морфологии и условиям залегания выделяют четыре типа сульфидных руд: 1) пластовые висячие залежи вкрапленных руд в интрузии; 2) пластовые и линзообразные залежи массивных и прожилково-вкрапленных руд в интрузии и подстилающих породах; 3) линзы и неправильные тела приконтактовых брекчиевых руд;

4) жилы в интрузиях и вмещающих породах (рис. 3.3). Пространственное размещение руд различных типов контролируется составом интрузивных пород, физико-механическими свойствами вмещающей толщи, развитием тектонических трещин.

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

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

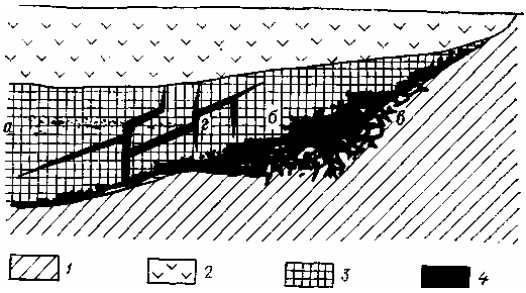


Рис. 3.3. Схема размещения рудных тел сульфидных медно-никелевых месторождений (по *Г.Б. Роговеру)*: 1–2 – вмещающие породы:
1–осадочные, 2–эффузивные; 3–интрузивные образования; 4–руды: а–вкрапленные, б–донные залежи, в–приконтактовые брекчиевые, г–жилы

К рассматриваемому типу относятся месторождения Красноярского края (*Норильск-1, Талнахское, Октябрьское*) и Кольского полуострова (*Печенгская группа*), в Канаде – районов Садбери (лополит Садбери является крупнейшим зарубежным месторождением – рис. 3.4) и Томпсон, в Южной Африке – Бушвельда и Инсизвы, в Австралии – района Калгурли. Небольшие месторождения этого типа известны в Финляндии, Швеции, Норвегии, США.

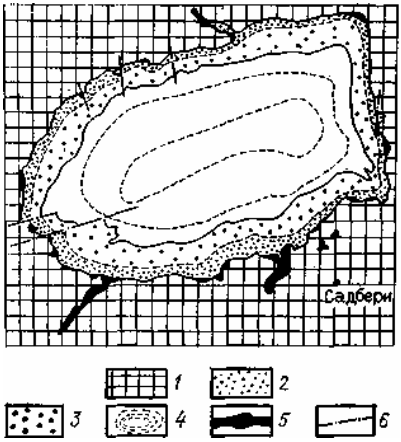


Рис. 3.4. Схема геологического строения лополита Садбери в Канаде (по *П. Колеману*): 1 – подстилающие породы; 2 – габбро; 3 – нориты; 4 – породы кровли; 5 – сульфидные месторождения; 6 – разрывные тектонические нарушения

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. Каковы геологические условия формирования раннемагматических месторождений, какие полезные ископаемые характерны для них?
4. Назовите характерные особенности условий залегания, строения и состава позднемагматических месторождении. Какие типы позднемагматических месторождений имеют промышленное значение?
5. Дайте характеристику ликвационных сульфидных медно-никелевых месторождений.

4. ПЕГМАТИТОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

4.1. Условия образования

Пегматитами называются своеобразные по минеральному составу, морфологии, структуре и генезису позднемагматические и метасоматические 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 интрузивным породам любого состава. Однако среди них преобладают и имеют ведущее значение гранитные пегматиты, реже встречаются щелочные.

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 ком-

понентами – H_2O, P, C1, 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 другого состава. 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). Под воздействием горячих газово-водных растворов происходят и 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 газово-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.

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.

4.2. 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 без признаков перекристаллизации и метасоматоза.

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

Перекристаллизованные пегматиты

Для перекристаллизованных пегматитов типична разнозернистая 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. 4.1). Зональность может отсутствовать. Описываемые пегматиты образуют самостоятельные поля или тела среди полей более сложных пегматитов.

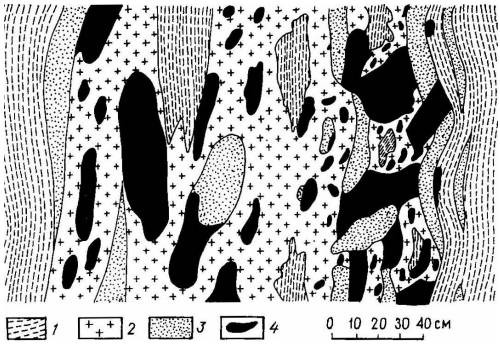


Рис. 4.1. Строение жилы перекристаллизованного пегматита (по *В.И. Смирнову*): *1*–гнейсы; *2*–мелко- и среднезернистые пегматиты; 3–кварц; *4*–мусковит

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

Метасоматически замещенные пегматиты

Пегматиты этого типа не только перекристаллизованы, но и метасоматически преобразованы под воздействием горячих газово-водных минерализованных растворов. Для них характерно зональное строение, наличие крупных (до 200 $м^3$) открытых полостей с друзами кристаллов ценных минералов.

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

- сподумен-кварц-полевошпатовые (Россия, ЮАР, Канада, США); (разрез одного из зональных пегматитовых тел приведен на рис. 4.2);
- берилл-кварц-полевошпатовые (Россия, Заир, Замбия, Австралия, США, Бразилия);
- драгоценных камней – горного хрусталя, аметиста, топаза, аквамарина, турмалина (Урал, Казахстан, Украина, Афганистан, Индия, ЮАР, Мадагаскар, Австралия, Бразилия);
- корундовые с его драгоценными разновидностями – сапфиром и рубином – Урал (Карабашское, Борзовское), Индия, Египет, ЮАР, Австралия, Канада, США (Пенсильвания, Северная Каролина).

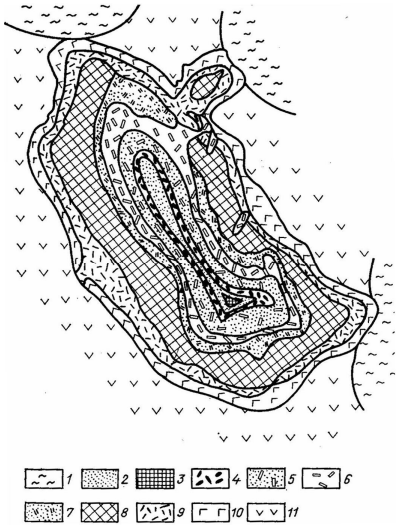


Рис. 4.2. Геологический разрез тела метасоматически замещенного пегматита (по *Н.А. Солодову)*: *1* – наносы; *2–10* – зоны пегматитового тела: *2* – блокового кварца; *3* – крупноблокового микроклина II; *4* – мелкопластинчатого альбита; *5* – кварц-сподуменовая; *6* – клевеландит-сподуменовая; *7* – кварц-мусковитовых гнезд; *8* – крупноблокового микроклина I; *9* – гнезд мелкозернистого альбита; *10* – графическая кварц-микроклиновая; *11* – вмещающие породы

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. Каковы геологические условия формирования и полезные ископаемые простых пегматитов?
3. Какие полезные ископаемые связаны с перекристаллизованными пегматитами?
4. Какие типы метасоматически замещенных пегматитов имеют промышленное значение?

5. ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

5.1. 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 коллоидным и истинным растворам.

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 магматических горных пород.

Метаморфическая вода выделяется при метаморфизме горных пород под воздействием высокой температуры и давления.

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 металлогенные элементы, такие, 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, но чаще всего легкорастворимых соединений комплексных ионно-молекулярных растворов.

Перемещение вещества гидротермальных растворов может осуществляться диффузией в застойном растворе и инфильтрацией в движущемся. 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 pH (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. 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.

5.2. Типы месторождений

По условиям образования гидротермальные месторождения делятся на плутоногенные или глубинные и вулканогенные, или приповерхностные. Плутоногенные 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).

Плутоногенные месторождения

Плутоногенные гидротермальные месторождения пространственно и генетически связаны с интрузиями кислых, умеренно кислых и умеренно щелочных интрузивных магматических 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 плутоногенным принадлежат следующие типы месторождений: золото-кварцевый, вольфрамит-молибденит-кварцевый, касситерит-кварцевый, никель-кобальт-арсенидный, молибденит-халькопиритовый (медно-порфировый), галенит-сфалеритовый, золото-сульфидный, касситерит-силикатно-сульфидный, тальковый, 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. 5.1) 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 СНГ к этому типу относятся месторождения Урала (*Кочкарское*), Узбекистана (*Мурунтау*), Сибири (*Коммунар, рудник «Советский»*); 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. Месторождения этого типа расположены в Забайкалье (*Джида, Белуха, Букука, Шахтама*), Казахстане (*Шалгия, Верхнее Кайракты*). Они развиты в Португалии, Норвегии (*Кнабен*), КНР (*Ляндушань, 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, оруденe-

лые 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.

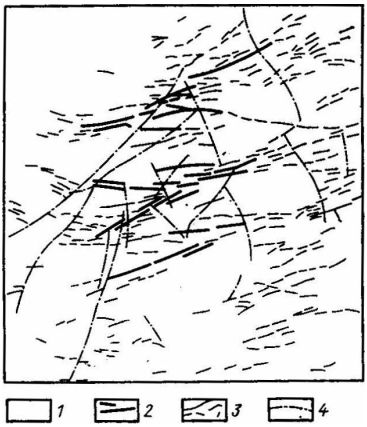


Рис 5.1. Схема размещения золото-кварцевых жил на Кочкарском месторождении (по *Ф.И. Вольфсону*): 1 – плагиограниты; 2 – промышленные жилы и рудные зоны; 3 – непромышленные жилы; 4 – разрывные нарушения

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* (Тыва, Россия) 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 (*Калмаккыр*), Армении (*Каджаран, Агарак*). Крупные месторождения имеются в США (*Бингем, Кляймакс*), Чили (*Чукикамата* – рис. 5.2), Болгарии (*Медет*).

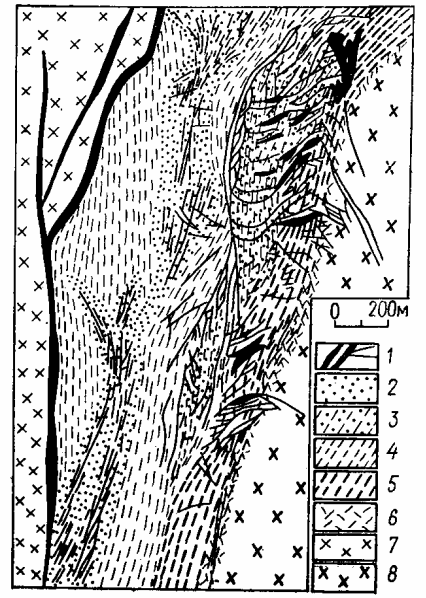


Рис. 5.2. Схема геологического строения медно-порфирового месторождения Чукикамата (по *В. Лопесу* и *В. Перри): 1*–рудные жилы и прожилки; *2–6* – измененные палеогеновые монцонитовые порфиры: *2*–окварцованные, *3*–серицитизированные и слабоокварцованные, *4*–интенсивно серицитизированные, 5–альбитизированные 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.

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

Галенит-сфалеритовые (полиметаллические) месторождения представлены зонами вкрапленного оруденения, линзами, залежами и штоками массивных руд, размещенными в кислых и основных эффузивах, их туфах, метаморфических сланцах, в экзоконтактах массивов кислых и умеренных гранитоидов. В состав руд кроме галенита и сфалерита входят пирит, блеклые руды, халькопирит, а из нерудных минералов – барит, карбонаты, кварц, серицит. В СНГ месторождения описываемого типа известны на Кавказе (*Садон, Згид, Холст*), в За-

байкалье (*Нерчинская группа*), а за рубежом – в ГДР (*Фрайберг*), Чехии (*Пршибрам*), Болгприи (*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*), Забайкалье (*Дарасунское*), Западной Сибири (*Берикульское, Саралинское*), 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*) в Казахстане (*Житигаринское*), в Республике Тыва (*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 складчатых зон, 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 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. Гидротермальные изменения эффузивных пород выражаются в окварцевании, пропилитизации, алунитизации, каолинизации.

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

Магнетитовые месторождения связаны с траппами и приурочены к вулканическим трубкам взрыва. Залегают они среди карбонатных и песчано-сланцевых пород, скарнированных интрузивных трап-

пов. 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 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 СНГ известны в Приморье (*Джалиндинское, Хинганское*), а за рубежом в Японии (*Акенобе*), Боливии (*Ллалгуа, Потоси* – рис. 5.3), Мексике (*Дуранго, 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. 5.4). 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.

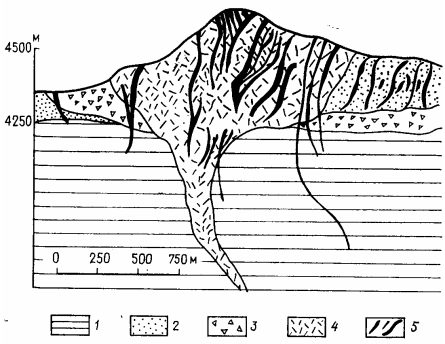


Рис. 5.3. Геологический разрез месторождения Потоси в Боливии (по *Х. Мурильо*): *1* – сланцы ордовика; *2* – вулканогенно-осадочные породы палеоген-неогенового возраста; *3* – вулканические брекчии; *4* – андезитодациты; 5 – рудные жилы

Месторождения расположены на Чукотке (*Пламенное*), Камчатке (*Чемпура*), в Приамурье (*Ланское*), Закарпатье (*Боркут*), Италии (*Монте-Амиата*), Алжире (*Исмаил*), Японии (*Итомука*), США (*Мак-Дермит–Опалит*), Новой Зеландии (*Пуи-Пуи*).

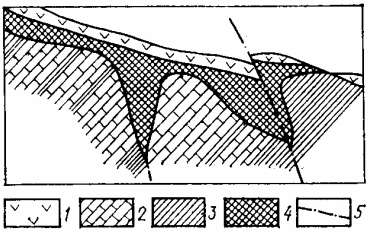


Рис. 5.4. Схематический геологический разрез месторождения Монте-Амиата (по *В.И. Смирнову* и др.): *1* – трахиты четвертичного возраста; *2–3* – меловые породы: *2* – известняки; *3* – сланцы; *4* – рудное тело (оруденелые брекчии); *5* – разломы

***Золото-серебряные месторождения*,** ассоциирующие с субвулканическими интрузивами кварцевых порфиров, приурочены к глубинным разломам, зонам дробления, древним вулканам. Руда состоит в большинстве случаев из кварца, халцедона, опала, карбонатов с пиритом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом, серебром, золотом. К этому типу относятся месторождения Забайкалья (*Балей, Белая Гора, Тасеевское*); США (*Крипл-Крик, Комсток*), Румынии (*Нагиаг*) и др.

Месторождения самородной серы обычно приурочены к склонам, подножиям, кальдерам стратовулканов или к межвулканическим впадинам. 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. Каковы физико-химические условия формирования гидротермальных месторождений?
3. Какова характеристика геологических условий и полезные ископаемые плутоногенных гидротермальных месторождений?
4. Каковы геологические условия и полезные ископаемые вулканогенных гидротермальных месторождений?

6. КОНТАКТОВО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

6.1. 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.

К классу контактово-метасоматических отнесены альбититовые, грейзеновые (часто объединяемые в альбитит-грейзеновые) и скарновые месторождения.

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 интрузивных 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 – 1–4 км, давление – 10–130 МПа.

Формирование скарновых месторождений связано с процессами кальциевого и магниевого метасоматоза, протекающего на контактах кислых и умеренно-кислых гранитоидов (граниты, гранодиориты, сиениты) с вмещающими их карбонатными, реже силикатными породами. Оптимальный диапазон глубин составляет 500–2000 м. Температуры

их образования по мнению большинства исследователей изменяются в широких пределах: от 900 до 250°С. Процесс развивается в несколько стадий, в течение которых агрегатное состояние растворов меняется – и из пневматолитовых они становятся типичными гидротермальными.

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

6.2. Типы месторождений

Альбититовые месторождения

Как промышленный объект данные месторождения привлекли внимание исследователей сравнительно недавно и систематическое изучение началось в основном в 70-х годах XX в.

Альбититы представляют собой образованные метасоматическим путем лейкократовые породы, в которых на фоне основной мелкозернистой альбитовой массы отмечаются порфировые выделения кварца, микроклина, слюд, 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 нарушений.

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 России, Казахстана, КНР, Индии, Намибии, Нигерии, Канады, Бразилии.

Грейзеновые месторождения

Грейзены в наиболее общем случае состоят из агрегатов слюд (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 породах, и *экзогрейзены*, локализованные во вмещающих породах. Характерными формами рудных тел грейзеновых месторождений являются жилы, штокверки, минерализованные зоны. Мощность жил составляет от нескольких сантиметров до нескольких метров, протяженность по простиранию достигает 1–2 км, длина по падению изменяется от 70–80 до 600 м. Часто встречаются сложные жильно-штокверковые образования.

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

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

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

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

Касситерит-топаз-кварцевые месторождения связаны с лейкократовыми аляскитовыми гранитами гипабиссальной фации. Рудные жилы и штокверки локализованы как в самих гранитах, так и в породах кровли. Главные рудные минералы – касситерит и вольфрамит. Вмещающие породы подвергнуты грейзенизации, калишпатизации и альбитизации. Месторождения описываемого типа известны на Чукотке (*Экуг*), в Забайкалье (*Этыка*), Приморье (*Чапаевское*), Казахстане (*Актас*), в Германии (*Альтенберг*), Чехии, 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*), Монголии, Аргентины (*Серро-Асперро*).

С грейзенами связаны также имеющие важное промышленное значение месторождения бериллия.

Скарновые месторождения

Скарны – породы карбонатно-силикатного состава, образовавшиеся метасоматическим путем в приконтактовой 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 *эндоскарны*, располагающиеся в пределах измененной части интрузивов, и *экзоскарны*, размещенные во вмещающих породах. Большая часть подобных пород относится к экзоскарнам, локализующимся непосредственно вдоль контактов интрузивов. Некоторые скарновые залежи по плоскостям напластования вмещающих пород удаляются от интрузивов на десятки – сотни метров и даже на 1–2 км.

Наиболее интенсивно скарнообразование идет на контактах с интрузиями среднего состава (гранодиориты, кварцевые диориты, монцониты) и умеренных глубин. Благоприятными факторами для формирования скарновых месторождений являются пологие контакты интрузий, тектоническая нарушенность их эндо- и 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 извилистыми границами. По морфологии выделяются скарновые залежи следующих типов: пластовые и пластообразные, линзовидные, штоки, трубы, жилы и жилообразные, гнезда, сложные ветвящиеся тела (рис. 6.1). 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.

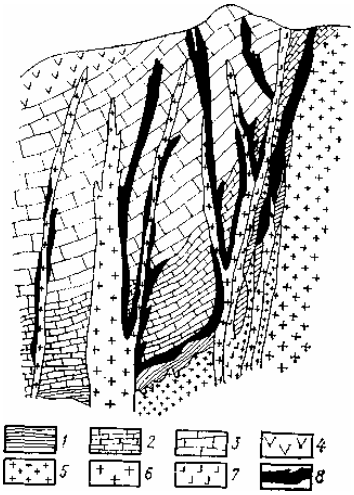


Рис. 6.1. Схематический геологический разрез скарнового месторождения Алтын-Топкан (по *А.А. Амирасланову): 1* – эффузивно-осадочные породы; 2 – доломиты; *3* – известняки; *4* – туфы; 5 – гранодиориты; *6* – гранодиорит-порфиры; 7 – гранит-порфиры; 8 – рудные тела

В зависимости от состава горных пород, вмещающих интрузии, скарны делят на известковые и магнезиальные (иногда выделяют также силикатные скарны). Месторождения полезных ископаемых, связанные с этими основными видами скарнов, отличаются друг от друга вещественным составом, характерными комплексами полезных ископаемых, а также особенностями морфологии и условий залегания.

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

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 минералами являются магнетит, гематит, пирит, кобальтин, пирротин, нерудными – пироксен и гранат. Подобные месторождения находятся на Урале (*Высокогорское, Гороблагодатское*), в Казахстане (*Соколовское, Сарбайское*), Закавказье (*Дашкесан*), Западной Сибири (*Таштагольское, Абаканское, Шерегешское*). Крупные месторождения имеются в Болгарии, Италии, КНР, Японии, США.

Месторождения молибденит-шеелитового типа приурочены к зонам брекчирования и структурам контактов гранитов, плагиогранитов, кварцевых диоритов с известняками, мраморами, сланцами. Форма рудных тел сложная, обычно штокверковая, реже жилообразная. Главные минералы рудоносных скарнов – молибденит, шеелит, молибдошеелит, сульфиды железа и меди, пироксены и гранаты. К этому типу в принадлежат месторождения, расположенные в Кабардино-Балкарии (*Тырныауз* – рис. 6.2), в Средней Азии (*Лянгар, Чорух-Дайрон*), в Марокко (*Азгур*), США (*Бишоп*), КНР.

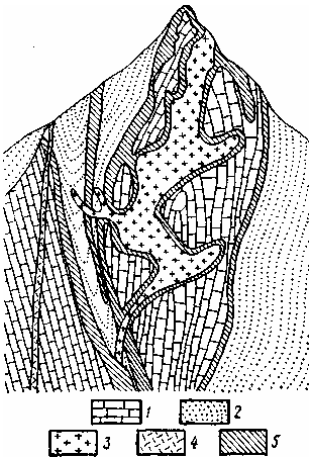


Рис. 6.2. Геологический разрез месторождения Тырныауз (по *В.И. Смирнову)*:
1 – мраморизованные известняки;
2 – биотитовые роговики;
3 – лейкократовые гранитоиды;
4 – липариты; 5 – скарны

Халькопиритовые месторождения локализуются в приконтактовой зоне гранодиоритов и эффузивов среди известняков. Руды слагают пласто-, трубо- и жилообразные тела. Текстуры их вкрапленные и массивные. К главным минералам относятся халькопирит, пирит, пирротин, магнетит, сфалерит. Месторождения этого типа находятся на Урале (Турьинские рудники), в Казахстане (*Шатыркулское, Саяк*), в США (*Клифтон, Мэрисвейл*), Мексике, Канаде, 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, пирротином, гранатами и пироксеном. Крупные месторождения расположены в Приморье (*Верхнее, Дальнегорское, Николаевское*), Средней Азии (*Алтын-Топкан, Кансай*), Югославии (*Трепча*), США (*Франклин, Лоуренс*), Мексике, Турции, Афганистане.

Магнезиальные скарны формируются при замещении доломитов и доломитизированных известняков. Типоморфными минералами магнезиальных скарнов являются диопсид, форстерит (магниевый оливин), шпинель, флогопит, серпентин, магнетит, людвигит (железомагниевый 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 Восточной Сибири (*Таежное, Железный Кряж*), а также в Болгарии, Чехии, Румынии, США, Перу.

Флогопитовые месторождения в магнезиальных скарнах приурочены к контактовым зонам гранитоидных интрузий с метаморфизованными известняками, доломитами, пироксеновыми метаморфизованными породами. Рудные тела, представленные крупными зонами с вкрапленностью и гнездами; а также одиночными крупными жилами и системами лестничных жил, приуроченных к зонам повышенной трещиноватости, сложены флогопитом, апатитом, диопсидом, кальцитом, скаполитом. Месторождения данного типа развиты в Сибири (*Прибайкалье, Алдан*), а также в Канаде, Шри-Ланке, Индии, Мадагаскаре.

Хризотил-асбестовые месторождения формируются в контактовых ореолах гранитоидных интрузий среди доломитов. На месторождениях обычно наблюдаются серии параллельных жил разной мощности, приуроченные к серпентинитовым полосам, размещение которых контролируется тектоническими нарушениями. В состав руд входят хризотил-асбест (высококачественный безжелезистый), серпентин, карбонаты, магнетит, диопсид, оливин, гранат. Подобные

месторождения известны в Красноярском крае (*Аспагаш, Бистаг*), 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. Каковы особенности геологического строения и полезных ископаемых альбититовых месторождений?
4. Какова характеристика геологических условий образования грейзеновых месторождений различных промышленных типов?
5. Каковы геологические условия и полезные ископаемые скарновых месторождений, в чем состоят отличия известковых и магнезиальных скарнов?

7. МЕТАМОРФИЗОВАННЫЕ И МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

7.1. Условия образования

Процессы метаморфизма заключаются в преобразовании геологических тел под воздействием температуры, давления, газовых и жидких растворов (флюидов). 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 вмещающих 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-слюдистые. 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 грано-, порфиробластические, роговиковые, пластинчатые, листоватые, волокнистые и сноповидные структуры. Текстура отличается развитием катаклаза и сланцеватости. Характерно полосчатое, сланцеватое, плойчатое, 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 метаморфизо-

ванные 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).

7.2. Типы месторождений

Метаморфизованные месторождения

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, а вредных элементов – фосфора, серы, мышьяка и других – уменьшается, и в целом качество железных и марганцевых руд обычно значительно улучшается. Метаморфизм сопровождается гидротермально-метасоматическими процессами, поэтому часто в общей массе рядовых руд наблюдаются штокообразные тела переотложенных богатых руд.

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

Месторождения железистых кварцитов (таконитов, 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 часть разреза свита сложена магнетит-мартитовыми роговиками, джеспилитами, хлоритовыми, биотитовыми и амфиболовыми сланцами. В Криворожском бассейне мощность железорудной свиты около 1300 м, она насчитывает семь железистых и семь сланцевых горизонтов. Бедные железистые кварци-

ты включают пластовые, линзо-, лентовидные и столбообразные залежи богатых руд, сформировавшихся при эпигенетическом переотложении первичного рудного вещества.

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

Браунит-гаусманитовые (марганцевые) месторождения формируются либо вследствие изменения первичных оксидных, либо в связи с метаморфизмом опал-карбонатных марганцевых руд. Приурочены они обычно к протерозойским силикатным породам (гондитам и кодуритам), переслаивающимся с мраморами, кварцитами и сланцами. Эти породы распространены на больших площадях. Рудные залежи имеют протяженность до 3–8 км при мощности 3–60 м. Руды характеризуются полосчатой текстурой. Месторождения этого типа найдены в Южной Африке, Австралии, Бразилии, Индии.

К регионально-метаморфизованным относятся также месторождения ***урансодержащих золотоносных конгломератов*****,** играющих важную роль для зарубежных стран – ЮАР (*Витватерсранд*), Австралии, Канады (*Блайнд-Ривер*), Бразилии.

Контактово-метаморфизованные графитовые месторождения возникают в ореоле теплового воздействия интрузий, прорывающих пласты каменного угля. Графитовые залежи имеют форму пологопадающих линз, пластов и пластообразных тел. Они локализуются среди ороговикованных песчаников, кварцитов, графитовых сланцев и других метаморфических пород. Пласты графита нередко контактируют с магматическими образованиями, обусловившими пирометаморфизм углей (рис. 7.1). Характерные текстуры – массивные скрытокристаллические и сланцеватые.

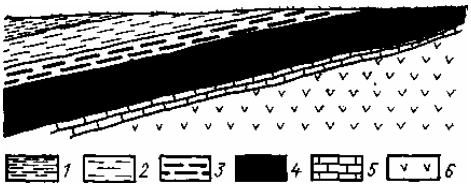


Рис. 7.1. Схематический геологический разрез Курейского месторождения графита (по *С.В. Обручеву*): 1 – песчаники; 2 – сланцы и кварциты; 3 – графитовые сланцы; 4 – графит, образовавшийся по пласту угля; 5 – карбонатные породы; 6 – диабазовые траппы

Месторождения данного типа распространены в Восточной Сибири (*Курейское* и др.), на Южном Урале (*Боевское, Полтавское, Брединское*), а также в Корее и 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.

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

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

К типичным метаморфическим образованиям относятся также 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 – 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. Примером месторождений подобного типа является *Синангойское* в Хакасии.

Контрольные вопросы и задания

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

8. ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

8.1. Условия образования

Вулканогенно-осадочные месторождения рассматриваются 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.

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

8.2. Типы месторождений

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

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

Характерной особенностью колчеданных месторождений является их приуроченность к поясам вулканогенно-осадочных горных пород, брахиантиклинальным структурам, разбитым тектоническими нарушениями и трещинами, а также связь с малыми субвулканическими интрузиями основного и кислого состава. Типичные формы рудных тел – линзы, жило-, 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 (медноколчеданный) и галенит-сфалерит-пиритовый (полиметаллически-колчеданный).

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

Халькопирит-пиритовые месторождения (уральский тип) обычно приурочены к осадочно-вулканогенным толщам базальтоидных формаций или к кремнисто-терригенным образованиям. Рудные тела залегают в вулканических брекчиях и туфах, размещение месторождений часто контролируется локальными вулканическими структурами. Тела имеют форму согласных пластовых залежей и линз (рис. 8.1), 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; пирротином, блеклыми рудами, галенитом и др. По химическому составу руды являются комплексными и могут содержать в промышленно извлекаемых количествах свинец, цинк, серу, селен, теллур, серебро золото, кадмий, индий, таллий, галлий.

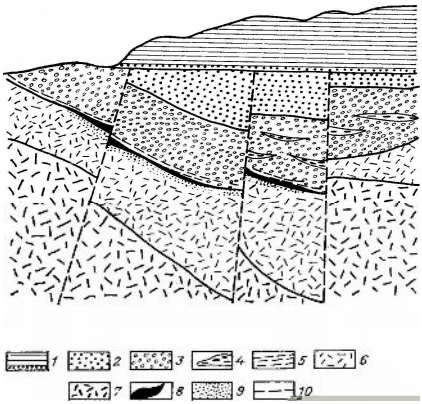


Рис. 8.1. Геологический разрез месторождения Уруп (по *Я.С. Скрипченко):* *1* – песчаники и сланцы; *2–3* – туфы различного состава: *2* – кислого; *3* – среднего; *4* – филлиты; *5* – кремнистые сланцы; *6* – кварцевые альбитофиры; *7* – диабазы и диабазовые порфириты; *8* – залежи массивных колчеданных руд; *9* – вкрапленная рудная минерализация; *10* – послерудные нарушения

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

Галенит-сфалерит-пиритовые месторождения (алтайский тип) пространственно и генетически связаны с кислыми производными базальтоидного вулканизма и приурочены к 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. 8.2). Размеры их достигают 1–2 км (обычно сотни метров) по простиранию, 500–600 м по падению при мощности от нескольких метров до 15–20 м (иногда до 50 м).

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

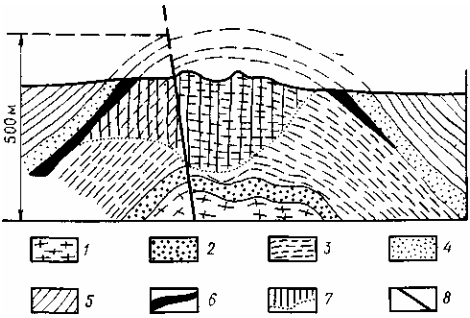


Рис. 8.2. Схематический геологический разрез колчеданно-полиметаллического месторождения Рио-Тинто (по *В.И. Смирнову): 1* – лавы основного состава; *2* – переходный слой с конгломератами; *3–4* – породы кислого состава; *3* – лавы, *4* – туфы; 5 – грауваккo-сланцевые породы; *6* – массивная колчеданная руда; 7 – рудный штокверк; *8* – послерудный сброс

Месторождения описываемого типа развиты в Прибайкалье (*Холоднинское*), Забайкалье (*Озерное*), Казахстане (на Алтае – *Зыряновское, Риддер-Сокольное, Тишинское, Белоусовское; Жайрем, Текели*), на Кавказе (*Филизчай, Маднеули*), в Германии (*Раммельсберг*), Испании (*Рио-Тинто*), Норвегии, Швеции (*Фалун*), Бирме, Японии, Австралии, США, на Кубе (*Санта-Люсия*).

Магнетит-гематитовые месторождения обычно залегают среди туфов, туффитов, карбонатных и кремнисто-карбонатных пород в виде пластов и линз. 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* и *Холзунское* (Алтай) в Казахстане, *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 (*Атасуская группа, Жезды*), на Алтае, Южном Урале, в Кузнецком Алатау (*Мазульское, Дурновское*), Хабаровском крае.

Контрольные вопросы и задания

1. Как формируются вулканогенно-осадочные месторождения?
2. Какие особенности условии залегания, морфологии и состава тел полезных ископаемых для них характерны?
3. Каковы геологические условия образования и вещественный состав колчеданных месторождений?
4. Какова характеристика свинцово-цинковых и железорудных вулканогенно-осадочных месторождений?

9. ГИДРОТЕРМАЛЬНО-ОСАДОЧНЫЕ (СТРАТИФОРМНЫЕ) МЕСТОРОЖДЕНИЯ

9.1. Условия образования

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

9.2. 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-халькозин-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. 9.1). Мощность их изменяется от десятков сантиметров до первых десятков метров. Выдержанные по мощности залежи прослеживаются на многие кило-

метры по простиранию и на первые километры по падению. Характерны также многоярусные залежи, которые постепенными переходами связаны с безрудными породами. Иногда встречаются секущие рудные жилы и зоны дробления.

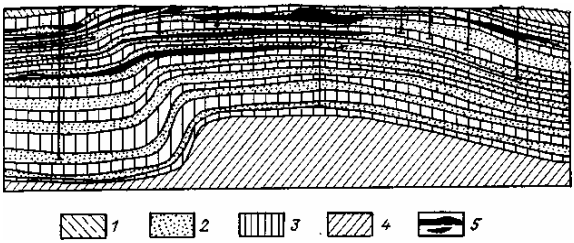


Рис. 9.1. Геологический разрез месторождения Жезказган (по *К.И. Сатпаеву): 1* – красноцветная толща нижней перми; *2–4* – каменноугольные образования: *2* – рудоносные серые песчаники, *3* – безрудные красноцветные песчаники и аргиллиты, *4* – песчаники и известняки; *5* – рудные тела

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 развиты в Казахстане (*Жезказган, Жаман-Айбат, Итауз*), Прибайкалье (*Удокан*), Германии (*Мансфельд*), Польше (*Предсудетское*), Афганистане (*Айнак*), Замбии (*Роан-Антилоп, Чамбиши, Нчанга*), Заире (*Камото, Мусоши*).

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

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

К этому типу относятся месторождения Казахстана (*Миргалимсай, Шалкия*), Средней Азии (*Уч-Кулач, Сумсар, Джергелан*). Они распространены в Польше (*Олькуш, Болеслев*), Болгарии, Югославии (*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. 9.2). 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. Основные жильные минералы – кварц, кальцит, флюорит и барит.

Месторождения этого типа распространены в Средней Азии (*Кадамджай, Хайдаркан, Чаувай*), на Украине (*Никитовка*), в Болгарии (*Рыбново*), Испании (*Альмаден*), КНР (*Синьхуаньшань, Ваньшань*), Перу.

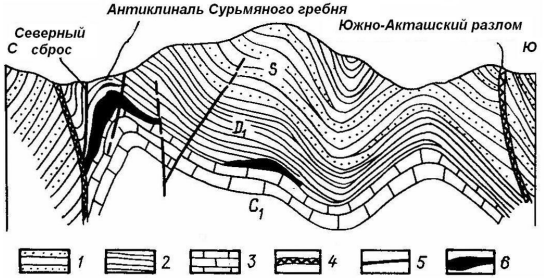


Рис. 9.2. Геологический разрез месторождения Кадамджай (по *Н.А. Никифорову):*
1 – песчано-сланцевые отложения; *2* – глинистые сланцы с прослоями гравелитов; *3* – массивные известняки; *4* – надвиги; 5 – прочие разломы; *6* – роговиково-джаспероидные брекчии с оруденением

Контрольные вопросы и задания

1. Какие месторождения относятся к гидротермально-осадочным (стратиформным)?
2. Какова характеристика геологического строения и вещественного состава борнит-халькопиритовых стратиформных месторождений?
3. Каковы особенности 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?

10. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВЫВЕТРИВАНИЯ

10.1. 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 – 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, диализа. Геохимические преобразования в коре выветривания характеризуются стадийностью. В начальной стадии выветривания 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 энергично выносятся хлор, бром и сера, легко выносятся кальций, натрий, калий и фтор, к подвижным относятся кремнезем, фосфор, марганец, кобальт, никель и медь, а к инертным – железо, алюминий и титан.

В результате формируется кора выветривания разного состава

(или разного профиля) 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 и накопление в остатке глиноземом и и их интенсивная миграция кремнеземом. 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 климат, состав, структура и возраст коренных пород, тектоническая нарушенность массива, рельеф местности, гидрогеологические условия, длительность процесса формирования коры.

По форме и условиям нахождения тел полезных ископаемых различают месторождения площадной, линейной и приконтактовой коры выветривания (рис. 10.1).

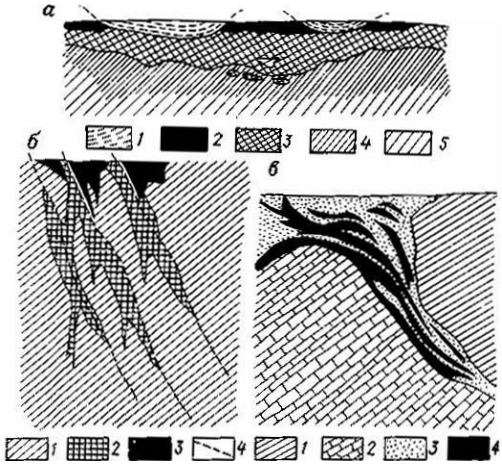


Рис. 10.1. Типы месторождений коры выветривания: *а* – площадной: *1* – покровные отложения; *2* – охристо-глинистые породы; *3–4* – серпентинит со скоплениями минералов никеля: *3* – нонтронитизированный, *4* – разложенный; 5 – неразложенный серпентинит; б – линейный: *1–3* – серпентинит: *1* – неразложенный, *2* – выветрелый разложенный со скоплениями минералов никеля; *3* – охристо-глинистые породы; *4* – зона трещиноватости; в – приконтактовый (карстовый): *1* – серпентинит; *2* – известняк; *3* – карстовые отложения; *4* – руда

Месторождения площадной коры выветривания плащом перекрывают коренные породы. Мощность коры – до первых десятков метров, размеры в поперечнике – от десятков до тысяч метров. *Месторождения линейной коры выветривания* имеют форму жилообразных тел, которые развиваются по системе трещин до глубины 100–200 м. *Приконтактовые месторождения выветривания* размещены вдоль контакта растворимых пород (например, карбонатных) и пород, поставляющих минеральное вещество при разложении.

10.2. 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 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 глинозем, оксиды железа и марганца и частично кремнезем.

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, 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; крупные месторождения известны в Германии, Чехии, Великобритании, Франции, КНР.

Гарниерит-нонтронитовые месторождения силикатных никелевых руд (с кобальтом) связаны с корой выветривания серпентинитов, образовавшихся по дунитам и перидотитам. На ранних стадиях разложения никельсодержащих минералов никель переходит в раствор, переносится из верхней части в глубь коры выветривания, где вновь отлагается в виде вторичных минералов. При этом никель отделяется от железа в связи с легкой окисляемостью последнего и выпадением его в осадок при малых значениях 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 Югославии, Албании, Индонезии, Австралии, на Кубе, в Бразилии и на о.Новая Каледония.

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

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

Остаточные месторождения бокситов распространены в районе КМА (*Висловское*), на Енисейском Кряже, в Югославии, 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; комплекс-

ные железо-никелевые; комплексные железо-кобальтовые; комплексные железо-марганец-никелевые.

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

Пиролюзит-псиломелановые (марганцеворудные) месторождения обрзауются при выветривании марганецсодержащих метаморфизованных пород. Они развиты на Урале (*Полуночное*), в Западной Сибири (*Мазульское*), в Индии, Гане, Габоне, ЮАР, 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, когда водные растворы, встречая активные, легко поддающиеся растворению породы, выщелачивают некоторые компоненты вмещающих пород и вместо них отлагают другие, ранее содержавшиеся в растворе компоненты. Соответственно минералы боковых пород метасоматически замещаются новыми, перенесенными в растворенном виде. Так возникает ряд месторождений железа, марганца, меди, ванадия, урана, радия, фосфоритов, гипса, боратов, магнезита.

Сидерит-лимонитовые месторождения железа достаточно часто образуются в коре выветривания фильтрационным способом, так как железо содержится в тех или иных количествах во всех горных породах. Руды сложены сидеритом, лимонитом, гематитом. Характерные текстуры – обломочные, конгломератовые, желваковые. Наиболее широко распространенными формами рудных тел являются гнезда, линзы и пластообразные залежи, размещенные в выветрелых кремнистых породах и известняках. Месторождения данного типа расположены на Урале (*Алапаевское* и *Синаро-Каменская группа*); 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 для Казахстана огромно. Они известны в Югославии, Венгрии, Румынии, Германии, 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 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. 10.2). 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.

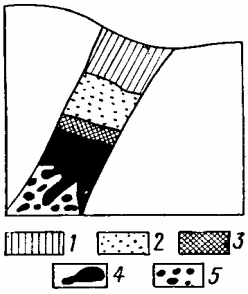


Рис. 10.2. Схема строения окисленной части сульфидного рудного месторождения: *1*–зона полного окисления; *2*–подзона выщелачивания; *3*–подзона вторичного окисного обогащения; *4*–зона вторичного сульфидного обогащения; *5*–зона первичных сульфидных руд

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. Для развития этой зоны благоприятными факторами являются теплый влажный климат, умеренно расчлененный рельеф, полиминеральный состав руд, наличие пирита, неплотные текстуры, разнозернистые 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.

Основные закономерности поведения различных металлов в зоне окисления заключаются в следующем.

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

Медь. При окислении сульфидов меди (например, халькопирита) появляется легкорастворимый сульфат, который 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 в «церусситовой рубашке».

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: *Жезказганском, Кадаинском, Коунрад, Кальмакыр, Турланском, Блявинском, Дегтярском* и др.

Другие (несульфидные) месторождения полезных ископаемых по степени устойчивости в зоне выветривания делятся на три группы: не изменяющиеся, слабо изменяющиеся, изменяющиеся. К первой группе относятся месторождения горного хрусталя, драгоценных камней, алмазов, гранатов, корунда, алунита, диатомита, трепела, песков, гравия, песчаников, кварцитов. Слабо изменяются месторождения пегматитов, карбонатитов, асбеста, ряда карбонатных и силикатных пород, глин, магматических 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 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. Каковы основные физико-химические процессы выветривания и профили коры выветривания?
3. Какие структурно-морфологические особенности характерны для месторождений площадной, линейной и приконтактовой коры выветривания?
4. Какие особенности условий залегания, морфологии и вещественного состава свойственны остаточным месторождениям выветривания?
5. Как образуются инфильтрационные месторождения выветривания?
6. Какие полезные ископаемые связаны с инфильтрационными месторождениями?
7. Какие изменения вещественного состава и строения происходят при выветривании месторождений полезных ископаемых?

11. ОСАДОЧНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

11.1. Условия образования

Осадочные месторождения возникают в процессе осадконакопления на дне водоемов. По месту образования они разделяются на речные, болотные, озерные и морские. Среди последних в свою очередь различают платформенные и геосинклинальные. Процесс формирования осадочных горных пород и связанных с ними полезных ископаемых протекает в три стадии – 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 путём волочения по дну. При этом растворимые соединения практически полностью выносятся в водоём, а обломочные продукты – частично.

Осадкообразование в водоёмах 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 ещё дальше, во внутренней части водоёмов – глины. При равной величине обломков они разделяются по плотности – наиболее далеко от берега уносятся минералы с наименьшей плотностью.

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 солёностью 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.

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, глинозёма и таких микроэлементов, как ванадий, хром, никель, кобальт, медь.

В стадию диагенеза осуществляется превращение сильно увлажнённого, насыщенного бактериями и малыми компонентами ила в уплотнённую породу. Этот процесс протекает на глубине от первых десятков до первых сотен метров под толщей осадков. На первом этапе диагенеза идёт окислительное минералообразование, и за счёт кислорода иловых вод возникают концентрации 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 даёт начало жидким и газообразным каустобиолитам.

Среди минералов осадочных месторождений можно выделить три группы: 1) устойчивые при выветривании обломочные минералы, принесённые с континента (кварц, рутил, полевые шпаты, слюды); 2) продукты химического выветривания (каолинит, монтмориллонит, гидрослюды, 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 де-

сятки, а свиты пластов – на сотни километров. Мощность пластов колеблется в широких пределах – от 0,5 м (Донбасс) до 500 м (Соликамское месторождение).

11.2. 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 всех регионах Казахстане.

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

пригодны рыхлые пески современных месторождений. По составу пески делятся на моно- и полиминеральные. Среди мономинеральных наиболее широко распространены кварцевые пески, реже встречаются полевошпатовые. Разрабатываются месторождения песков различного возраста и происхождения: четвертичные и палеоген-неогеновые (Украина), юрские (*Люберецкое* – рис. 11.1), раннекаменноугольные (*Подмосковье*), девонские (*Ленинградская область*) и др.

В Казахстане строительные пески известно повсеместно, их месторождения обеспечивают потребности строительных объектов всех городов и населенных пунктов.

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

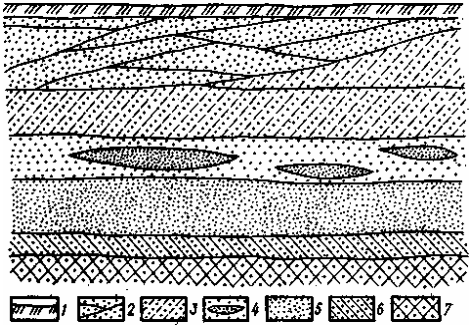


Рис. 11.1. Геологический разрез Люберецкого месторождения стекольных песков*: 1*–почва; *2–7* – пески: *2*–древнеаллювиальные косослоистые, *3*–белые, слабо окрашенные, *4*–светлые с линзами чисто белых, *5*–высо-косортные белые, *6*–ожелезненные, *7*–глауконитовые

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 в всех районах Казахстана.

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

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 россыпей достигает десятков – первых сотен метров. Распределение ценных минералов в их пределах неравномерное, с максимумом содержаний в вершинах россыпей.

Пролювиальные россыпи очень редки. Они развиваются у подножья 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. 11.2), *пески* (или *пласт*), *торфа* (песчано-глинистые осадки), *почвенный слой* (отсутствует в русловых россыпях).

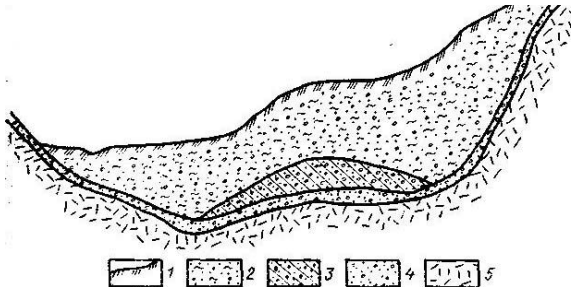


Рис. 11.2. Строение аллювиальной россыпи (по *В.Н. Котляру):*
1–наносы (почвенный слой); *2*–торфа; *3*–пески (пласт);
4–безрудный аллювий; 5–коренная порода-плотик

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

Аллювиальные россыпи могут размещаться в непосредственной близости от коренных источников. Они протягиваются вдоль реки на различное расстояние – в зависимости от гидрологического 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. Оп-

тимальные 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 километры.

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

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

Выделяют следующие типы россыпных месторождений.

Золотоносные (аллювиальные) – Казахстан (долина р.*Иртыш*), Россия (Восточная Сибирь – долины рек *Алдан, Колыма, Бодайбо*), Австралия (*Калгурли*), США (*Аляска, Калифорния*), Бразилия.

Платиноносные (элювиальные и аллювиальные) – Урал, Заир, Зимбабве, Эфиопия, США (*Аляска*), Колумбия.

Алмазоносные (все генетические типы россыпей) – Республика Саха, Урал, Индия, ЮАР, Намибия, Ангола, Танзания, Заир, Австралия, Венесуэла, Гайана.

Касситерит-вольфрамитовые (делювиальные и аллювиальные) – Северо-Восток России (*Иультин, Пыркакай*), Республика Саха (*Омчикандин, Депутатское*), Забайкалье (*Шерловогорское*), Казахстан (*Караоба, Богуты*); КНР (*Нюшипо*), Индонезия (*Банка*), Бирма (*Бвабин, Хейда*), Конго, Австралия, США (*Аталия* в Калифорнии), Бразилия.

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

Колумбит-танталовые **–** Россия, Казахстан, Конго, Заир, Нигерия, Бразилия.

Магнетит-ильменитовые (литоральные) — 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-пиролюзитовый 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 засолонение при ее выпаривании в условиях жаркого климата. Такие соленосные бассейны известны на побережье Черного (*Донузлав*), Азовского (*Сиваш*), Каспийского (*Кара-Богаз-Гол*) и Аральского (*Жаксыклыш*) морей. Континентальные соляные озера образуются в бессточных котловинах аридных областей при выпаривании поступающих в них поверхностных и подземных вод. Такие озера встречаются в Западной Сибири, Казахстане, в Монголии, Иране, Восточной Африке, Австралии.

Ископаемые залежи минеральных солей формировались в прошлые геологические эпохи в условиях аридного климата при испарении морской воды в изолированных лагунах. Все известные группы месторождения приурочены – Предуральскому, Предкарпатскому, Закарпатскому, Донецкому, Предпиренейскому, Предатласскому краевым прогибам, а также к Прикаспийской, Днепровско-Донецкой, Московской, Ангаро-Ленской, Вилюйской, Польско-Германской, Северо-Германской и Внутриамериканской синеклизам.

Крупными месторождениями калийных солей являются Верхнекамское на Урале (рис. 11.3), Старобинское в Белоруссии, Калуш и Стебник в Западной Украине, месторождения Западного Казахстана, а также Страсфуртское в Германии. Среди месторождений каменной соли широко известны Славяно-Артемовское (Донбасс) и Илецкое (Оренбургская область); а также в Германии и Канаде.

Сидерит-шамозит-лимонитовые железорудные месторождения представлены пластами, вытянутыми линзами, пластообразными залежами. 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 хлориты (шамозит, тюрингит). Кроме того, руды содержат минералы марганца, кварц, халцедон, кальцит, барит, гипс, глинистые минералы.

Текстуры руд оолитовые. Крупные осадочные железорудные месторождения расположены в Крыму (*Керченский бассейн*), Казахстане (*Аятское*), в Центральной Европе (*Лотарингский бассейн*), Мали, Австралии, США (*Клинтон*), Канаде.

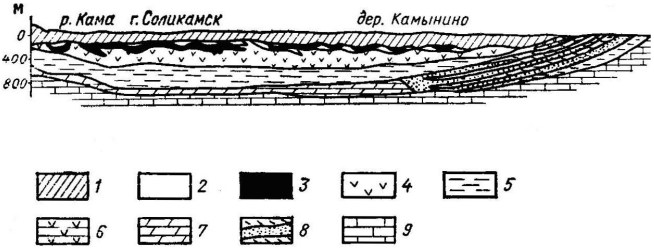


Рис. 11.3. Геологический разрез Верхнекамского месторождения (по *А.А. Иванову*): 1–покровные породы; 2–покровная каменная соль; 3–зона калийных солей; 4–подстилающая каменная соль; 5–ангидрит-глинистая толща; 6–соленосные песчаники и глины; 7–9 – подстилающие породы: 7–доломитизированные мергели, 8–песчано-конгломератовые отложения, 9–известняки

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, манганит), карбонаты (родохрозит, манганокальцит) марганца. 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 (*Усинское* в Кузнецком Алатау), а также геосинклинальные (*Малый Хинган, Южный Урал*). Первые из перечисленных являются наиболее крупными по масштабам. Они локализуются 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 гид-

роксидов 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. 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* – рис. 11.4 и *ЮУБР*), в Ленинградской области (*Тихвинская группа*), на Тимане (*Южно-Тиманская группа*), в Тургайском прогибе (*Амангельдинская группа*), в Венгрии, Югославии, 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.

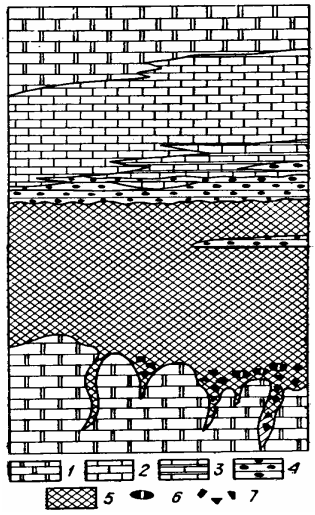


Рис. 11.4. Обобщенная геологическая колонка девонских бокситовых залежей геосинклинального типа Северного Урала, по *Г.И. Бушинскому*: *1* – известняк светло-серый, массивный; *2* – известняк темно-серый; *3* – мергель темно-серый и черный с прослоями известняка; *4* – боксит серый, слоистый, с морской фауной; *5* – боксит красный; *6* – гальки известняка; *7* – угловатые куски известняка

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, 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 биологическими 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 обогащение им морской воды, насыщенной углекислым газом. Вследствие восходящих течений (*апвеллинга*) 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.

Фосфоритовые месторождения разделяют на геосинклинальные и платформенные. Первые обычно имеют пластовую форму и значительные размеры – протяженность до 100 км при ширине 40–50 км.

Текстуры руд массивные.

Платформенные месторождения располагаются в пределах синеклиз. Они менее значительны по размерам. Руды по текстурам желваковые или вкрапленные. По составу среди них различают глинистые и песчано-глинистые с рассеянным фосфористым веществом.

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

Месторождения серы биохимического происхождения формируются вследствие деятельности анаэробных бактерий, живущих в бескислородной среде. Эти бактерии разлагают органические вещества и сульфат кальция с выделением сероводорода и карбоната кальция. Сероводород в верхней части водоема окисляется до самородной серы под действием кислорода или серных анаэробных бактерий. Сера оседает на дно, где смешивается с кальцитом, гипсом и другими осадками, образуя сингенетические месторождения (Среднее Поволжье и Предкарпатье).

Эпигенетические месторождения самородной серы возникают биохимическим путем в разных по составу трещиноватых и пористых породах, насыщенных подземными сульфатными водами и содержащих органическое вещество. Формы рудных тел эпигенетических месторождений – линзы, гнезда, штокообразные или неправильной формы залежи. Типичными примерами месторождений этого типа являются *Шорсу* и *Гаурдак* (Средняя Азия).

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

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

Процесс образования углей достаточно сложен. Тем не менее в нем четко выделяются две основные стадии. На первой происходит превращение отмерших растений в торф, на второй – торфа в бурый уголь. Затем бурый уголь переходит в каменный, а последний в антрацит (рис. 11.5).

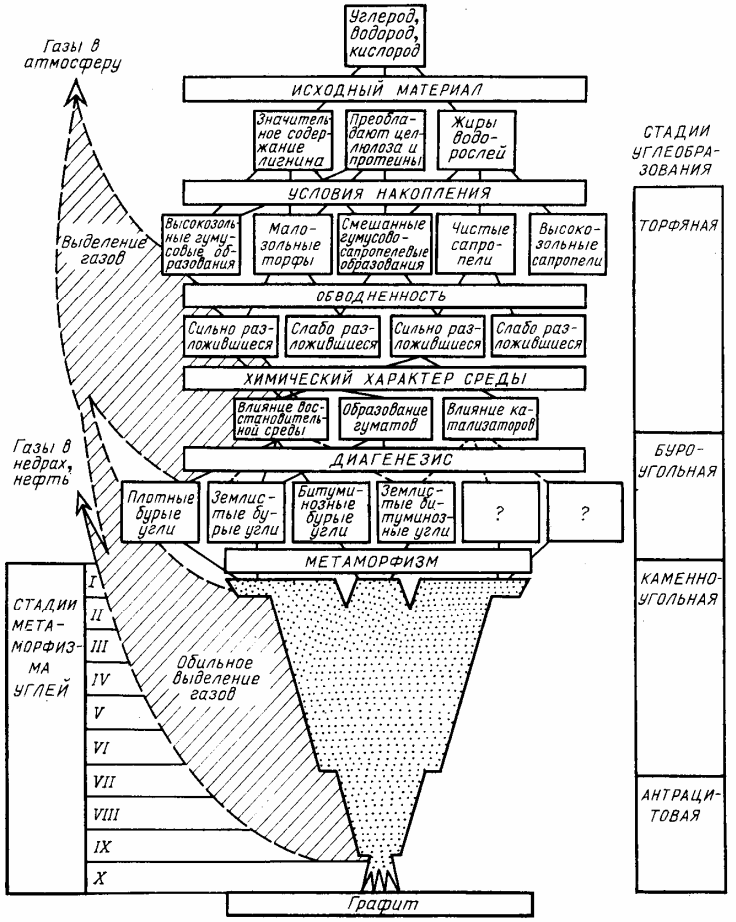


Рис. 11.5. Схема образования углей (по *И.И. Аммосову*)

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.

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. Потонье, который подразделил все «биолиты» на два типа: акаустобиолиты и каустобиолиты.

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

Каустобиолиты разделяются на три группы:

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

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

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

Классификация Г. Потонье была развита Ю.А. Жемчужниковым, который дополнил ее, детализовав исходный материал условиями его превращения. По этой классификаций 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 кау-

стобиолиты подразделяются по зольности. При этом горючие сланцы рассматриваются как высокозольные сапропелиты.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие бывают стадии седиментогенеза и типы дифференциации осадков при формировании осадочных месторождений полезных ископаемых?.
2. Какие минералы входят в состав осадочных месторождений?
3. Как характеризуются геологические условия образования и полезные ископаемые механических осадочных месторождений?
4. Каковы особенности морфологии, условий залегания и вещественного состава россыпных месторождений?
5. Какие типы россыпных месторождений имеют промышленное значение?
6. Каковы геологические и физико-химические условия формирования химических осадочных месторождений?
7. Какова характеристика 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. Как классифицируют твердые горючие ископаемые?

Часть III. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

12. 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 и молибден.

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, иттрий, празеодим, неодим и др.

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 обусловливают характер их поведения при различных геологических процессах, играют важную роль при обосновании технологических схем их выделения из руд при переработке, получении 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 обусловливают общий характер и конкретные схемы их технологической переработки, а также в конечном счете ценность месторождений и руд из-за различной стоимости извлекаемых металлов;

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

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

табельно только для высокоценных металлов;

3) масштаб месторождений, т. е. количества запасов руд основных металлов и сопутствующих компонентов, непосредственно определяющих экономические показатели промышленного освоения.

12.1. Железо

Общие сведения

Применение. Железные руды являются исходным сырьем для получения чугуна (с содержанием углерода С 2,5–4 % и более), сталистого чугуна (2,5–1,5 % С),стали (1,5–0,2 % С) и железа (0,2–0,04% С). Около 90 % чугуна является «передельным» и переплавляется в сталь. Остальной чугун (литейный) используется для получения отливок. Добавка марганца, ванадия, хрома, никеля, 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 разности железных руд применяются в химической промышленности для получения красок, а также в нефтяной промышленности (гематит) в качестве утяжелителя глинистых растворов при бурении скважин.

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

Известно более 450 минералов, содержащих железо. Промышленными минералами являются магнетит Fe_3O_4 (72,4 % Fe), мартит и гематит Fe_2O_3 (70 %), ильменит $FeTiO_3$ (36,8 %), бурые железняки $Fe_2O_3\ nH_2O$ (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 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 %.

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 (%): 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 (Fe>57%, SiO_2<8–10%, S, P<0,15 %) идут на изготовление стали, минуя доменный процесс; они могут непосредственно поступать в конвертерное, мартеновское или бессемеровское производство. Наиболее богатые железные руды (Fe >68 %, SiO_2 <2 %, S, P <0,01 %) используются для получения металлизованных окатышей, которые затем передают в электросталеплавильное производство.

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

Мировая добыча железных руд составляет в настоящее время около 900 млн. т и осуществляется более чем в 50 странах. В крупных размерах ведётся добыча в Австралии, США, Бразилии (от 75 до 100 млн. т в каждой), Канаде, Индии, Франции, ЮАР, Швеции, Либерии. СНГ по добыче железных руд занимает первое место в мире (245 млн. т). Основной объём добычи (более 68 %) 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 (2000 г.) на товарную железную руду изменяются от 16 до 20 $/т, на окатыши – 30 $/т.

Типы промышленных месторождений

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

Магматические титаномагнетитовые и ильменит-титаномагнетитовые месторождения приурочены к массивам основных и ультраосновных изверженных пород и контролируются зонами крупных глубинных разломов. Рудные тела представлены крупными гнездами, линзо- и жилообразными 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 (%): 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 на Урале (*Кусинское, Качканарское, Гусевогорское, Первоуральское*), в Карелии (*Пудожгорское*); Забайкалье (*Чинейское*), США (*Тегавус*), Канаде, Швеции (*Таберг*), Норвегии (*Телнесс*).

Качканарское месторождение, являющееся сырьевой базой крупного горно-обогатительного комбината, приурочено к габбро-пироксенитовому массиву площадью около 100 км^2. 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, амфиболами, 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 относятся месторождения на Балтийском щите (*Ковдорское*), на Африканской платформе (*Люлекоп*, ЮАР; *Дорова*, Зимбабве; *Сукулу*, Уганда), в Канаде и Бразилии.

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, вулканогенные, реже интрузивные породы. Содержание железа колеблется от 20 до 70 % (обычно 40–50 %), серы до 3 %. В качестве ценной примеси присутствует кобальт. Руды сложены магнетитом, мартитом, гематитом, пиритом, пирротином, 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.

Сарбайское месторождение – одно из самых крупных в Костанайской области. Месторождение приурочено к зоне контакта вулканогенно-осадочной толщи карбона с массивом диоритов, осложненной продольными и поперечными разрывными нарушениями. Три пластообразные рудные залежи меридионального простирания и западного падения (<45–65°) образовались в результате метасоматического замещения карбонатных пород (рис. 12.1); длина их 1550–2000 м, мощность 100–80 м.

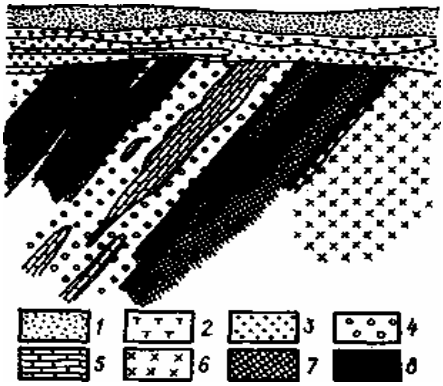


Рис. 12.1. Геологический разрез Сарбайского месторождения (по *И.А. Кочергину* и *В.А. Адамчуку): 1* – пески, сланцеватые глины; 2 – опока; 3 – кварцевые пески и песчаники; *4* – скарны; *5* – ороговикованные карбонатные породы; *6* – порфиры; *7–8* –руды: *7* –скарновые, *8* – магнетитовые

Вмещающие породы интенсивно ороговикованы и скарнированы. Среди скарнов выделяются скаполитовые, гранатовые, гранат-пироксеновые, актинолитовые и др.

Руды представлены в основном двумя типами: массивными магнетитовыми и рудоносными скарнами. Первые из них составляют 40 %

всех балансовых запасов месторождения. Они состоят из магнетита, гематита, мушкетовита, пирита, халькопирита, местами в них присутствуют пирротин, арсенопирит, сфалерит, галенит и минералы скарнов. В таких рудах среднее содержание Fe 54,9 %, S 4,3 %, P 0,139 %. Магнетитовые скарны состоят из магнетита, сульфидов и скарновых минералов. В них содержание Fe 20–50 %, S 2,9–3,2 %, P 0,12–0,14 %. В таких рудах заключено 60 % всех запасов месторождения. Руды Сарбайского месторождения содержат повышенные количества кобальта (в сульфидах), никеля, меди и других элементов. Разведанные запасы руд на месторождении составляют 709 млн. т. при среднем содержании 45,6 % железа.

Крепость руд вмещающих пород по М. Протодьяконову – 10–14. Руды и породы устойчивые. Средняя плотность руд 3,2–3,6 т/м^3. Влажность 1–2 %. Коэффициент разрыхления 1,4–1,6.

Разработка месторождения ведется открытым способом. Бедные и средние руды обогащаются. Все руды, включая и богатые, подвергаются агломерации с целью их обессеривания.

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 (%): 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.

Качарское месторождение магнетитовых руд расположено в 40 км севернее Соколовско-Сарбайского рудного поля. В геологическом строении месторождения принимают участие два комплекса пород – палеозойский, в состав которого входят рудные залежи и мезозой-кайнозойский чехол мощностью до 200 м, перекрывающий породы и руды палеозойского комплекса (рис. 12.2).

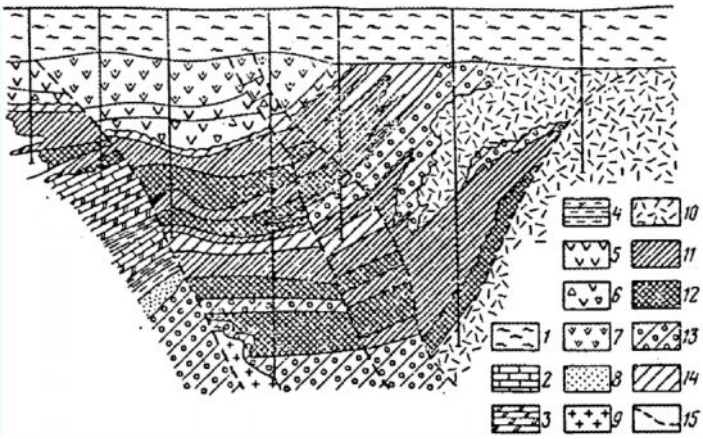


Рис. 12.2. Геологический разрез Качарского месторождения (по *Я. Беляшову*): *1*–мезозой-кайнозойские отложения; *2*–известняки; *3*–ангидриты; *4*–туффиты; *5*–андезитовые порфириты; *6*–туфы среднего состава; *7*–андезит-базальтовые порфириты; 8–песчаники и туфопесчаники; *9*–гранит-порфиры; *10*–кварцевые порфиры; *11*–вкрапленные руды; *12*–массивные руды; *13*–пироксен-скаполитовые метасоматиты; *14*–скаполитовые метасоматиты; *15*–тектонические нарушения

Комплекс палеозойских пород представлен: 1) осадочно-вулканогенной свитой пород раннекарбонового возраста. Эта свита, непосредственно вмещающая оруденение, сложена мраморизованными известняками, конгломератами, песчаниками, алевролитами, аргиллитами, альбитофирами, туфами и туфобрекчиями. Значительная часть этих пород частично или полностью замещена магнетитовыми рудами; 2) дорудными и пострудными гранит-порфирами; 3) скарнами и рудами, образованными в зоне контакта гранит-порфиров с породами осадочно-вулканогенной толщи; 4) дайками диабазовых порфиритов и альбитофиров.

На месторождении установлено три крупных разрывных нарушения типа сбросо-сдвигов – Северный, Центральный и Южный. Все нарушения сопровождаются зонами дробления.

Главными рудными минералами являются магнетит (90–60 % от общего количества), гематит, халькопирит, сфалерит, пирротин, галенит. Из нерудных минералов главный – скаполит, присутствующий в рудах в виде зернистых агрегатов, отдельных крупных кристаллов и друз. Кроме скаполита присутствуют так же альбит, хлорит, кальцит, гранат, пироксен и др. Текстуры руд массивные и вкрапленные. Структуры полнокристаллические. По качеству руды разделяются на богатые, бедные и убогие. Характер распределения железа в рудах от равномерного до весьма неравномерного (коэффициент вариации от 30 до 125 %).

Гидрогеологические условия Качарского месторождения весьма сложные. На месторождении выделены пять водоносных горизонтов, четыре из которых приурочены к отложениям мезозой-кайнозоя и один (пятый) к палеозойскому комплексу пород.

Крепость руд по М. Протодьяконову составляет 10–14; вмещающих осадочных пород (известняки, конгломераты, песчаники) – 10–12; вмещающих эффузивных и интрузивных пород – 0–17; породы вскрыши (пески, глины, опоки, песчаники) 3–6. Руды и вмещающие породы устойчивые. Средняя плотность руд: богатых магнетитовых 3,8 т/м^3, бедных магнетитовых 3,2 т/м^3.

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 таконiты. 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 известны в бассейне КМА (*Коробковское, Лебединское, Стойленское, Михайловское, Яковлевское* и др.), Криворожском железорудном бассейне (*Ингулецкое, Скелеватское, Первомайское* и др.), на Кольском полуострове и в Карелии (*Оленегорское, Костомукшское*), Казахстане (*Карсакпайская группа*), Приморье (*Малый Хинган*). За рубежом месторождения этого типа широко распространены в КНР, КНДР, Индии (*Бихар, Ориссо*), Австралии (*Хамерсли*), ЮАР, Либерии (*Нимба*), Канаде (*Лабрадор*), США (*оз. Верхнее*), Бразилии.

Криворожский железорудный бассейн (Кривбасс) занимает площадь более 300 км^2. Продуктивным является отдел криворожской серии протерозоя, в разрезе которого чередуют железистые и сланцевые горизонты. Геологическая структура Кривбасса очень сложная. Образуемые породами криворожской серии синклинорий и складчатые структуры осложнены многочисленными сбросами, надвигами, изоклинальной складчатостью, плойчатостью 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-гидрогётитовые, гематит-гидрогётитовые, 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 (Курской магнитной аномалии) имеет площадь 70 тыс. км^2. 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 текстурам 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 коры выветривания. 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. 12.3). Руды отличаются высоким содержанием железа (48–69 %) и низким – кремнезема, серы и фосфора. Прогнозные ресурсы КМА до глубины 700 м оцениваются в 850 млрд. т, богатых железных руд – до глубины

1200 м – в 80 млрд. т. Большинство месторождений разрабатываются открытым способом.

Вулканогенно-осадочные магнетит-гематитовые 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 относятся *Западный Каражал* (рис. 12.4), *Холзунское* (Горный Алтай), *Терсинская группа* (Кузнецкий Алатау), *Лан, Дилль* (ФРГ), *Гара Джебилет* и *Мешери Абделазис* (Алжир).

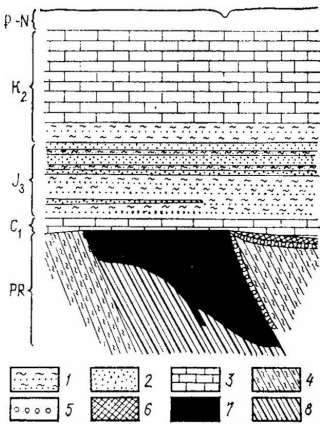


Рис. 12.3. Геологический разрез Яковлевского месторождения КМА (по *Я.С. Чайкину): 1*–суглинки, пески, глины; *2*–песчаники; *3*–мел, мергели, известняки; *4*–гнейсы, кварцево-слюдистые сланцы; *5*–бокситы; *6–7* – руды: *6*–переотложенные, 7–богатые; *8*–железистые кварциты

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%. Масштабы запасов от 20 млн т до 2 млрд т. В СНГ подобные месторождения имеют незначительные запасы (*Халиловское, Елизаветинское* на Урале, *Малкинское* на Кавказе), тогда как за рубежом встречаются весьма крупные месторождения – на Кубе (*Моа*), в Гвинее *Калун*), Филиппинах, Гвиане, Суринаме.

Инфильтрационные месторождения представлены гнездами, линзами и пластообразными залежами сидерит-лимонитовых руд с обломочными, конгломератовыми и желваковыми текстурами. Рудные тела залегают среди выветрелых кремнистых пород и известняков. Содержание железа в них 30–45%. Запасы руды – сотни миллионов тонн.

Мелкие месторождения этого типа известны на Урале (*Алапаевское, Синаро-Каменское*). Крупные месторождения выявлены в Великобритании и Германии.

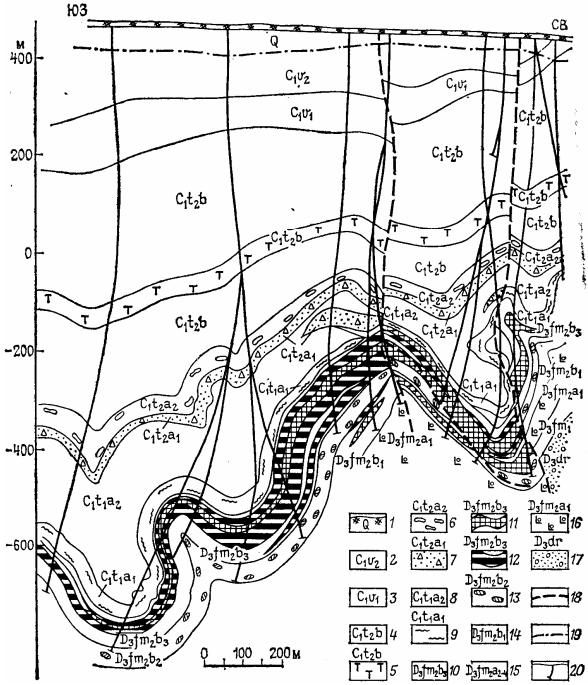


Рис. 12.4. Геологический разрез месторождения Западный Каражал:
1–четвертичные отложения; *2*–песчаники полимиктовые; *3*–кремнистые и глинисто-карбонатно-кремнистые породы, туффиты, туфы; *4*–известняк пепельно-серый, серицит-кремнисто-карбонатные породы; *5*–пирокластические породы; *6*–известняк желваковистый; *7*–горизонт поджелваковистый – седиментные брекчии известняковые, алевролиты; *8*–глинисто-кремнисто-известковые породы флишоидного строения; *9*–известняки кремнистые и детритовые, серицитолиты; *10*–кремнисто-карбонатные породы красноцветные; *11*–железные руды; *12*–марганцевые руды; *13*–кремнисто-карбонатные породы; *14*–хлорит-глинисто-карбонатные породы с линзами железных и марганцевых руд; *15*–глинисто-карбонатно-кремнистые породы с прослоями пиритовых ритмитов, *16*–базальты и трахибазальты, туфы; *17*–дайринская свита; *18*–разрывные нарушения; *19*–граница коры выветривания; *20*–разведочные скважины

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 при-

брежных осадков в геосинклинальных зонах, краевых прогибах и на платформах. Руды оолитовые по текстурам, 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 – сотни миллионов-миллиарды тонн. 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, крупное *Лисаковское* месторождение в Казахстане и др. Им присуще невысокое качество руд, малые масштабы запасов, ограниченное промышленное значение.

Казахстан располагает надежной железорудной сырьевой базой. Суммарные запасы железных руд, учтенные балансом (17 месторождений), включая забалансовые (11 месторождений), составляют 17 млрд. т. Из них 93% приходится на пять крупных месторождений: Качарское, Сарбайское, Соколовское, Аятское, Лисаковское. Все месторождения находятся в Северном Казахстане (северо-западная часть Торгайского прогиба). Здесь же располагаются 7 резервных разведанных месторождений с общими запасами 1,3 млрд. т (Алешинское, Ломоносовское, Южно-Сарбайское, Сорское, Шагыркольское), одно законсервированное – Коржункольское и два забалансовых (Адаевское и Бенкалинское)

Промышленные месторождения других районов Казахстана значительно уступают Торгайским. Среди них выделяются только разрабатываемые в Центральном Казахстане месторождения – Западный Каражал, Ушкатын III и Кентобе, с более богатыми рудами. Суммарные разведанные запасы более 300 млн. т. Кроме того, здесь известны месторождения с забалансовыми рудами – Ктай Большой (38,5 млн. т) и ряд месторождений железистых кварцитов: Балбраун (125,5 млн. т), Керегетас (60 млн. т), Ащитасты (90,3 млн. т), Гвардейское (200 млн. т). Забалансовые запасы учтены только по месторождениям Балбраун и Керегетас.

В Южном Казахстане разведаны месторождения Иирсуское (327,7 млн. т) и Абаил (28,3 млн. т). В Западном Казахстане наиболее крупным является месторождение Кокбулак (1,9 млрд. т) с забалансовыми оолитовыми бурожелезняковыми рудами (Северо-Восточное Приаралье), а также крупное месторождение Велиховское с прогнозными запасами титано-магнетитовых руд до 1 млрд. т.

На Алтае разведаны месторождения железных руд: Холзунское (680,2 млн. т) и Родионов Лог (58 млн. т).

Казахстан имеет достаточные, подготовленные для промышленного освоения запасы железных руд, обеспечивающие в полной мере внутренние потребности. Вместе с тем в последние годы существует проблема избытка мощностей железорудной промышленности, обусловленная экономическими условиями сырья на экспорт.

12.2. Марганец

Общие сведения

Применение. Основная часть (95 %) добываемых марганцевых руд применяется в черной металлургии в виде ферромарганца и «зеркального чугуна» благодаря свойству этого элемента придавать стали вязкость, ковкость, твердость и жаростойкость. Кроме того, добавки марганца при плавке руды способствуют более полному переходу вредных примесей в шлаки и более легкому отделению последних от металлического расплава. В среднем расход марганца достигает 1 % массы продукции сталелитейной промышленности.

Марганец используется также в производстве стекла, керамики, минеральных красителей, оксида марганца и других химических продуктов.

*Геохимия и минералогия***.** Кларк марганца 0,1 %. Повышенные содержания его характерны для основных и ультраосновных пород. Коэффициент концентрации высокий – более 300. Марганец содержится в 150 минералах. Промышленными являются пиролюзит MnO_2 (55–63 % Mn), браунит Mn_2O_3 (60–69%), гаусманит Mn_3O_4 (65–72%), манганит MnO(OH) (50–62%), псиломелан $mMnO{\cdot}MnO_2{\cdot}nH_2O$ (40–60%), родохрозит $MnCO_3$ (40–45%) и манганокальцит (Ca, Mn)CO_3 (7–23%).

*Типы руд и кондиции***.** По минеральному составу выделяют руды оксидные, карбонатные и смешанные. «Сырые» руды после дробления промываются для освобождения от песчано-глинистых частиц, затем обогащаются. Оксидные и оксидно-карбонатные руды считаются кондиционными при содержании марганца не менее 17 % в необогащенном сырье и не менее 25 % в мытой руде. Минимальное содержание марганца в карбонатной руде 13 % при условии получения 22 % металла в мытой руде. К вредным примесям относится фосфор (не более 0,2 %).

*Запасы и добыча***.** Общие мировые запасы марганцевых руд составляют 18,0 млрд. т, в том числе 2,4 млрд. т в СНГ, 13 млрд. т в ЮАР, от 200 до 50 млн. т в Габоне, Австралии, Бразилии и Индии. Запасы железо-марганцевых конкреций на дне океанов оцениваются в

1,7 млрд. т. Разведанные мировые запасы руд достигают 4,2 млрд. т, большая часть из них сосредоточена в СНГ (760 млн. т) и Габоне (400 млн. т); в ЮАР, Бразилии и Австралии разведано по 50 млн. т промышленных запасов. Крупнейшие запасы марганцевых руд в СНГ находятся на Украине; относительно небольшие месторождения известны на Урале, в Казахстане, в Западной Сибири, на Дальнем Востоке. В СНГ к весьма крупным относятся месторождения с запасами более 150 млн. т, к крупным – от 75 до 150, средним – от 25 до 75 и мелким – менее 25 млн. т. Уникальные месторождения имеют запасы более 1 млрд. т.

Добычу марганцевых руд ведут более 30 стран. Объем мировой добычи в последние годы значительно увеличился и достиг 25 млн. т; около 50 % этого количества приходится на СНГ. В значительных размерах (1,7–5,5 млн. т) ведут добычу марганцевых руд ЮАР, Бразилия, Австралия, Габон, Индия.

Стоимость руды (2000 г.) около 70 $/т, ферромарганца – 400 $/т.

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 СНГ 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 СНГ небольшие месторождения этого типа известны в *Казахстане*. При сильном метаморфизме возникают силикаты марганца – родонит, марганецсодержащие гранат и оливин, которые вместе с браунитом и гаусманитом входят в состав рудных залежей. За рубежом крупные метаморфизованные месторождения имеются в *Индии, Бразилии, Гане, ЮАР*, где разрабатываются в основном их зоны окисления. Содержание марганца в метаморфизованных месторождениях (в том числе и в окисленной зоне) – 15–48 %, масштабы 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 (%): 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. К вулканогенно-осадочным принадлежат месторождения *Атасуского* и *Жездинского 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 переотложенных участках) текстуры. Содержания основных компонентов следующие (%): 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*. В СНГ марганцевые шляпы имеют небольшое промышленное значение и наблюдаются на ряде коренных месторождений *Урала, Казахстана* и *Западной Сибири*.

Осадочные месторождения концентрируют более 80 % мировых запасов марганцевых руд на континентах. Руды приурочены к горизонтам кремнистых, песчано-глинистых и карбонатных пород, размещающихся в основании трансгрессивных серий осадков. Пластовые рудные тела имеют почти горизонтальное залегание, выдержанную мощность и относительно равномерный состав. Они сложены конкрециями, линзами и стяжениями марганцевых минералов с глинисто-алевритовым и песчаным материалом. По текстурам руды конкреционные, оолитовые, пористые и сажистые, по составу – пиролюзит-псиломелановые, манганитовые и карбонатные. Для всех месторождений данного типа характерно проявление зональности качественного состава руд, определяемой изменениями условий отложения марганценосных осадков в морских бассейнах. Содержание марганца в рудах

20–40 %, масштаб запасов отдельных месторождений – сотни миллионов тонн руды. Наиболее крупные месторождения осадочного типа расположены: *Никопольское* и *Больше-Токмакское* на Украине, *Чиатурское* в Грузии, а также в Габоне (*Моанда*), ЮАР, КНР, США, Италии, Испании.

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 представлены гидрооксидами марганца и железа – вернадитом и гидрогётитом. США, Германия и Япония, не имеющие крупных континентальных месторождений, ведут добычу железо-марганцевых конкреций на глубинах до 7 км. Состав конкреций (%): марганец 25–30; железо 10–12; никель 1–2; кобальт 0,3–1,5; медь 1–1,5.

В ***Казахстане*** балансовые запасы марганцевых руд более 400 млн. т. Прогнозные ресурсы оцениваются в 850–900 млн. т. Основные запасы (99 %) сосредоточены в Атасуском рудном районе Центрального Казахстана (месторождения Западный Каражал, Ушкатын III, Большой Ктай, Камыс). На долю остальных месторождений (Жезды, Промежуточное) приходится около 6 млн. т. В последние годы разведано новое месторождение Тур с утвержденными запасами 10,4 млн. т.

В Казахстане всего учтено 11 месторождений марганца. Наиболее крупным из них является Западный Каражал, включающий более половины всех балансовых запасов марганцевых руд республики. Вторым по масштабам является Ушкатын III. Степень промышленного освоения марганцевых месторождений Казахстана низкая. Занимая третье место в мире и второе в СНГ по запасам руд марганца, Казахстан по их добыче находится на 11 месте в мире (Кузнецов, 1996).

Сырьевая база марганца в республике позволяет в перспективе увеличить добычу марганцевых руд и осуществить экспортные поставки.

12.3. Хром

Общие сведения

*Применение***.** Основными потребителями хромитов являются металлургия (65 % добычи), огнеупорная (18 %) и химическая (17 %) промышленность. Добавка феррохрома к сталям повышает их

вязкость, твердость, и антикоррозионные свойства. Сплавы хрома с кобальтом, вольфрамом и молибденом служат для антикоррозийного покрытия (хромирования). Хромит используется в качестве огнеупорного материала для обкладки (футеровки) мартенов и печей для выплавки цветных металлов. В химической промышленности хромит применяют для производства красок и дубителей кож.

Геохимия и минералогия. Кларк хрома 0,0083 %. Повышенные содержания его характерны для ультраосновных и основных пород. Коэффициент концентрации весьма высокий (около 4000). Хром входит в состав 25 минералов. Промышленное значение имеют хромиты с общей формулой $(Mg,Fe)O(Cr,Al,Fe)_2O_3$ и изменчивыми содержаниями компонентов (%): 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 $(Mg,Fe)Cr_2O_4$ (50–65 % Cr_2O_3), хромпикотит $(Mg,Fe)(Cr,Al)_2O_4$ и алюмохромит $(Fe,Mg)(Cr,Al)_2O_4$.

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 %.

*Запасы и добыча***.** Подтвержденные запасы в зарубежных странах составляют около 3,5 млрд т. Основная часть их сосредоточена в ЮАР (3000 тыс. т) и Зимбабве (200 тыс. т). В других странах (Финляндии, Турции, Индии, Бразилии) запасы руд ограничены. Мировая (без СНГ) добыча хромитов достигает 9,8 млн. т. Разработка их ведется в 14 странах – ЮАР (50 %), Турции, Филиппинах, Индии, Финляндии и др. Стоимость хромитовой руды (2000 г.) от 45 до 125 $/т.

СНГ занимает ведущее место в мире по запасам и добыче хромитов. Основные месторождения расположены в пределах хромитоносного пояса Урала (Кемпирсайский массив). К весьма крупным относятся месторождения с запасами более 25 млн. т, к крупным – от 5 до 25 млн. т, к мелким – менее 1 млн. т. Уникальные месторождения имеют запасы руд сотни миллионов тонн.

Типы промышленных месторождений

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

Раннемагматические месторождения представлены пластооб-

разными 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 высококачественные (48–50% Cr_2O_3). Общие запасы хромитов 400 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 СНГ распространены на Урале (*Кемпирсайское, Алапаевское, Сарановское*) и на Кавказе (*Шоржинское*). За рубежом месторождения известны в Албании, Греции, Югославии, Турции (*Гулеман*), Индии, на Кубе. *Кемпирсайский хромитоносный массив* находится в Актобинской области в Мугалжарах. Более 20 промышленных месторождения массива сосредоточены в пределах его Главной рудной площади.

Массив ультраосновных пород протягивается в субмеридиональном направлении на 88 км вдоль зоны разломов, при ширине от 1–2 до 32 км. Массив имеет форму лакколита, залегающего среди пород верхнего протерозоя и нижнего палеозоя. Он сложен перидотитами и дунитами и вмещает более 160 месторождений и рудопроявлений (рис. 12.5).

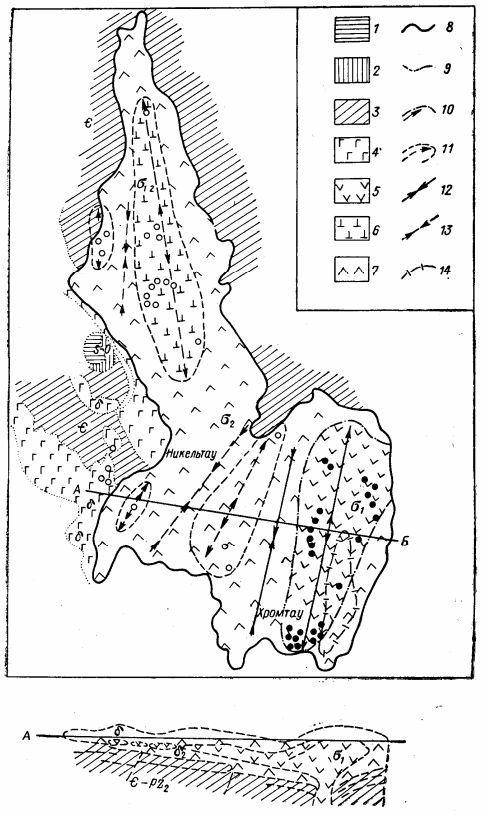


Рис. 12.5. Структурно-петрографическая схема Кемпирсайского хромитоносного массива. Вмещающие палеозойские отложения: 1–силурийские; 2–ордовикские; 3–кембрийские; 4–габброиды; 5–серпентинизированные дуниты с перидотитами; 6–серпентинизированный комплекс; 7–серпентинизированные перидотиты; 8–контур массива ультраосновных пород; 9–стратиграфические границы; 10–11– сводовые поднятия и их оси; 12–13–оси межсводовых опусканий; 14–контур проекции подводящего канала

Рудные тела – жилы и столбообразные залежи – падают под углом от 5–15 до 45° и прослеживаются до глубины 1200 м. Размеры тел по простиранию – от нескольких десятков метров до 1,5 км при мощности от нескольких метров до 150 м. Руды массивные и вкрапленные, состоят из магнохромита, (основной минерал), оливина, серпентина, хромдиопсида, талька, сульфидов, кварца и др. Количество (%): хромшпинелидов 80–90, серпентина 5–15, карбонатов до 7. Руды высококачественные. Содержание Cr_2O_3 в массивных рудах 55–63 %, в богатовкрапленных 45–55%. Общие запасы хромитовых руд массива порядка 1060,0 млн т.

Казахстан занимает второе место в мире по запасам хромитовых руд. Балансом учтено 21 месторождение (запасы около 230 млн т). Общие запасы руд составляют 430 млн т. Все запасы сосредоточены в

Кемпирсайском рудном районе (Мугалжары).

К числу уникальных месторождений хромитов (запасы более 100 млн т) относится месторождение Алмаз-Жемчужина. Крупными являются месторождения Миллионное, Молодежное, Юбилейное, Геофизическое XII.

Несмотря на крупные запасы хромитовых руд, добыча их (в настоящее время разрабатывается 4 месторождения) сдерживается переходом на подземный способ добычи и сокращением фронта работ карьерной отработкой. Сейчас необходим прирост запасов высококачественных хромовых руд, доступных для открытой добычи.

Перспективы расширения сырьевой базы хромитов связываются с Даульским массивом ультрабазитов (Южные Мугалжары).

12.4. Титан

Общие сведения

Применение. Титановые сплавы благодаря термической и химической стойкости применяются в космической технике, авиационной, судостроительной, знергомашиностроительной, 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.

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, TiO_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.

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 (млн. т) месторождения разделяют на очень крупные (>10), крупные (1–10), средние (0,1–1) и мелкие (<0,05–0,1).

В зарубежных 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 (2000 г.) около 50–70 $/т, рутиловый – 500 $/т.

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 СНГ месторождения этого типа находятся в Восточном Саяне (*Малотагульское, Лысанское, Кручинское*). За рубежом наиболее крупными являются месторождения Канады (*Лак-Тио*), США (*Тегавус*), Танзании (*Укинга, Уванджи*).

Титаноносные 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. Древние прибрежно-морские россыпи располагаются на Украине, в Ставропольском крае, Зауралье, Тургайском прогибе, Прибайкалье.

Казахстан обладает крупными запасами титановых руд. Основу минерально-сырьевой базы титана составляют ильменит-цирконовые

россыпи. Всего на территории Казахстана зафиксировано более 300 проявлений титановых руд. Из них в разряд месторождений отнесено 25. Расположены они в основном в Западном Примугалжарье: Шокаш, Сабындыколь, Ащисай и др., в Северном Приаралье: Прогнозное, Устюртское; на севере (Обуховское и др.) и востоке Казахстана (Караоткель, Бектемир).

Учтенные запасы (50 млн т) титана сосредоточены в месторождениях Караоткель, Бектемир, Обуховское, Шокашское, Устюртское, Кумколь, Прогнозное, Жарсорское. По предварительной оценке перспективными являются месторождения Сабандыколь, Новомихайловское, Шпаковское, Шубарсай, Ащисайское, Кумдыкольское, Сингирбай, Дружба и др. Значительные резервы титанового сырья сосредоточены в железорудных, бокситовых, угольных месторождениях и глинах кор выветривания. Проблема заключается в разработке технологий, позволяющих сделать попутное извлечение титана рентабельным.

В ближайшие годы в Казахстане значительно активизируются работы по освоению месторождений титановых руд, прежде всего россыпных.

12.5. Никель и кобальт

Общие сведения

Применение. Никель широко применяется в металлургии (80 % общего потребления) для производства легированных сталей и сплавов, обладающих высокой твердостью, жаропрочностью, ковкостью, пластичностью, сопротивлением коррозии. Большое значение в промышленности имеют сплавы никеля с медью, цинком, алюминием (латунь, нейзильбер, мельхиор, бронза, монетный сплав), с хромом (нихром, элинар, инконель), с железом (платинит), а также магнитные сплавы. Около 10 % объема производства никеля поступает на изготовление катализаторов.

Кобальт используется для получения специальных сталей и сплавов (70 %) – жаростойких, инструментальных, сверхтвердых и магнитных. Кроме того, он применяется в лакокрасочной, керамической, стекольной и химической промышленности.

Геохимия и минералогия. Кларк никеля 0,058 %, кобальта 0,0018 %, а коэффициенты концентрации соответственно 200 и 100. Повышенные содержания обоих металлов характерны для основных и ультраосновных магматических пород.

Известно 45 минералов никеля. К главным относятся сульфиды – пентландит $(Fe,Ni)_9S_8$ (22–42%), миллерит NiS (65 %), никелин NiAs

(44 %), а также водные силикаты – гарниерит $Ni_4[Si_4O_{10}](OH)_4 4H_2O$ (46 % NiO) и ревдинскит $(Ni,Mg)_6[Si_4O_{10}](OH)_8$ (51 % NiO). Кобальт образует 25 минералов. Промышленное значение имеют линнеит Co_3S_4 (40–53 %), кобальтин CoAsS (26–34%), саффлорит $(Co,Fe)As_2$ (6–23 %), кобальтсодержащие (до 3 %) пентландит и пирит, асболан $m(Co,Ni)O_2MnO_2nH_2O$ (до 19 %), непуит и нонтронит.

Типы руд и кондиции. Основными типами руд никеля и кобальта являются сульфидные и оксидно-силикатные. Минимальное промышленное содержание никеля в сульфидных рудах составляет 0,3%, кобальта – 0,015%, в оксидно-силикатных соответственно 0,6 и 0,037 %. Сульфидные руды часто являются комплексными и содержат медь, металлы платиновой группы, золото и серебро, селен и теллур.

Запасы и добыча. Общие запасы никелевых руд зарубежных 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 СНГ) являются Заир, Замбия, Австралия, Канада, Финляндия.

Цены на мировом рынке на никель достигают $20–35 за 1 кг, на кобальт – более $30 за 1 кг.

По масштабам запасов (тыс. т) месторождения делят: весьма крупные (>500 Ni или >50 Co); крупные (250–500 Ni, 25–50 Co) средние (100–250 Ni, 10–25 Co); мелкие <100 Ni, <10 Co).

Крупные месторождения комплексных сульфидных руд расположены в Норильском районе и на Кольском полуострове, силикатных руд – на Урале, Украине, в Казахстане.

Типы промышленных месторождений

Выделяют следующие промышленные типы месторождений никеля и кобальта: магматические ликвационные; гидротермальные плутоногенные высоко- и среднетемпературные; скарновые; остаточные выветривания.

За рубежом запасы и добыча никеля сосредоточены, главным образом, в остаточных месторождениях выветривания (71,5 % запасов и 43,6 % добычи) и магматических ликвационных (28,4 % запасов и 56,1 % добычи). Кобальт добывается преимущественно из стратиформных медно-кобальтовых месторождений (61,6 % добычи, 46,8 % запасов), меньшую роль играют магматические ликвационные (19,2 % добычи, 7,5 % запасов) и месторождения выветривания (15,8 % добы-

чи, 44,7 % запасов), гидротермальные месторождения в добыче и запасах никеля и кобальта имеют весьма ограниченнее 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 – до сотен миллионов тонн.

Ликвационные магматические месторождения пентландит-халькопирит-пирротиновых руд известны на Кольском полуострове (*Каула, Котсельваара, Каммикиви, Ждановское, Восток*), в Красноярском крае (*Талнахское, Октябрьское, Норильск-1*). Крупные месторождения имеются в Финляндии (*Пори*), Швеции (*Клева*), Австралии (*Камбалда*), ЮАР (*Бушвельд, Инсизва*), США (*Стиллуотер*), наиболее крупные – в Канаде (*Садбери, Томпсон*).

Талнахское (рис. 12.6) и *Октябрьское месторождения* находятся в Красноярском крае России, 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 разобщёны главным швом глубинного разлома. Складчатые и разрывные нарушения, оперяющие разлом, создают сложное блоковое строение рудного поля.

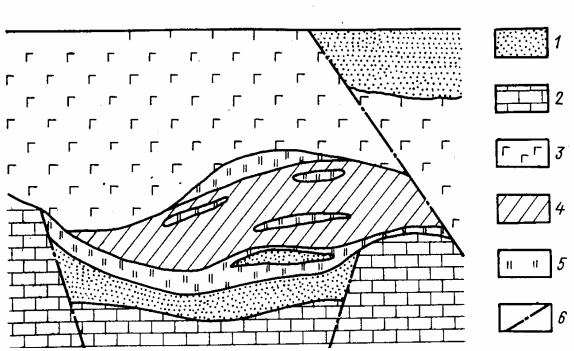


Рис. 12.6. Геологический разрез Талнахского месторождения (по *В.Н. Котляру*): *1*–песчаники; *2*–известняки и ангидриты; *3*–дифференцированные габбродиориты с вкрапленным оруденением в нижней части; *4*–залежь сплошных сульфидных руд; 5–экзоконтактовые вкрапления руды в измененных вмещающих породах; *6*–разрывные нарушения

Рудные тела локализуются в основном в зоне нижнего эндо- и экзоконтакта интрузивов 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 с различным содержанием пентландита, а также миллерит-борнит-халькопиритовые и пиритовые руды.

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

Гидротермальные плутоногенные месторождения подразделяются на высокотемпературные арсенопирит-кобальтиновые и среднетемпературные никель-кобальт-арсенидные и серебро-кобальт-никель-висмут-урановые. Из перечисленных типов гидротермальных месторождений значительными являются 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 месторождении достигают 100 тыс. тонн. К месторождениям данного типа

относится *Ховуаксы* (Республика Тыва). Наиболее крупным зарубежным месторождением является *Кобальт* в Канаде.

Силикатные кобальт-никелевые (гарниерит-нонтронитовые) остаточные месторождения выветривания связаны с корой выветривания ультрабазитов и серпентинитов. По структурно-морфологическим признакам различают коры выветривания следующих типов: площадные (*Кемпирсайское, Сахаринское, Серовское* на Урале, месторождения Кубы); линейно-трещинные (*Рогожинское* на Урале, месторождения на о. Новая Каледония); контактово-карстовые, приуроченные к тектоническим контактам серпентинитов и известняков (*Уфалейское,* Урал).

Выделяются следующие разновидности рудных залежей: плащеобразные 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, непуит, 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.

Кемпирсайская никель-кобальтовая кора выветривания. В коре выветривания Кемпирсайского массива выявлено 34 примышленных никель-кобальтовых месторождений, характеристики основных из них приведены в табл. 12.1.

Таблица 12.1

Основные никель-кобальтовые месторождения в коре выветривания Кемпирсайского массива

Месторождение	Год открытия	К-во залежей	Длина, м	Ширина, м	Ср. мощность, м	Ni, %	Co, %
Барановское	1930	3	310-1180	40-700	4,5	1,11	0,055
Северное Рождественское	1978	2	150-460	120-140	5,6	1,22	0,035
Щербаковское	1955	3	70-1760	85	6,9	1,1	0,04
Молодежное	1957	3	55-670	65-84	6,3	1,15	0,046
Жарлыбутак	1936	5	290-1060	30-450	4,3	1,1	0,058
Южно-Шуылкудыкское	1957	4	210-1460	20-630	4,3	1,16	0,057
Кызыл Кайын	1935	4	100-900	200-300	5,4	1,11	0,057

Кора выветривания в основном площадного типа и состоит из нонтронита и нонтронизированных серпентинитов, глубина распро-

странения ее до 40–50 м. Сверху по серпентинитам образуется охра, в большинстве случаев перекрывается чехлом неоген-четвертичных образований. Рудные залежи по форме пластообразные и плитообразные, они залегают горизонтально. Главные рудные минералы – нонтронит и гарниерит зеленого и желтовато-зеленого цвета, дополнительные минералы – керолит, асболан, никелистый хлорит, гетит, гидрогетит и др. Мощность рудных тел от 1–2 до 21–26 м. Месторождения могут разрабатываться открытым способом.

На территории ***Казахстана*** известно около 50 месторождений кобальт-никелевых руд. Основная минерально-сырьевая база никеля и кобальта сосредоточена в Мугалжарах (Кемпирсайский рудный район). Здесь расположены все наиболее значимые промышленные месторождения: Бурановское, Новобурановское, Новотайкеткенское, Кемпирсайское, Ширпакаинское, Щербаковское, Южно-Шуылкудукское, Южно-Жарлыбутакское, Бугеткольское, Батамшинское, Октябрьское, Булакмайское, Караобинское и др. Более мелкие месторождения кобальт-никелевых руд имеются в Центральном (Ангресорское, Шайтантас, Сарыкулболды, Промежуточное и др.), Северном (Шевченковское, Кундыбайское, Берсуатское) и Восточном (Горностаевское, Белогорское, Максут и др.) Казахстане.

Большая часть подтвержденных и разведанных запасов никеля и кобальта заключена в месторождениях силикатных никелевых (кобальто-никелевых) кор выветривания. Степень освоения разведанных запасов сравнительно невысокая – 30–40% с учетом резервных и подготовленных месторождений. В Казахстане есть перспективы открытия сульфидных медно-никелевых месторождений (кроме уже известных месторождении *Максут и Камкор*).

Значительные подтвержденные запасы кобальта содержатся в железных (магнетитовых) рудах Сарбайского, Соколовского и других месторождениях Костанайского региона.

В целом Казахстан обладает достаточными запасами силикатных руд никеля и кобальта (в том числе в магнетитовых руд) для организации собственного кобальто-никелевого производства.

12.6. 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 нержавеющих инструментальных и специальных сталей и сплавов. Металлический молибден используется в электро- и радиотехнике. Соединения молибдена служат катализаторами при крекинге нефти, сырьем при производстве красок, химических реактивов, огнестойких пластмасс, удобрений.

Геохимия и минералогия. Кларк вольфрама 0,003 %, молибдена 0,0011 %, коэффициент концентрации обоих металлов 5000, 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/м^3. Для извлечения молибдена основное значение имеют только молибденитовые руды. Реже могут представлять интерес молибдошеелитовые руды. Минимальное промышленное содержание молибдена в рудах колеблется от 0,01 до 1 % – в зависимости от типа месторождения, комплексности руд и условий разработки.

Запасы и добыча. Общие запасы WO_3 в мире (без СНГ) 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 СНГ) оцениваются в 11,4 млн т, достоверные – 7,7 млн т. Основная часть запасов приходится на США (40 % достоверных запасов) , Чили (26 %) , Канаду, Перу, Иран, Мексику. Добыча молибденовых руд – 84,3 тыс. т в пересчете на металл – сосредоточена преимущественно в США, Канаде и Чили.

Цена 1 кг концентрата WO_3 (2000 г.) около \$14, а 1 кг молибдена в концентрате – \$6,8.

По масштабам запасов принято следующее деление месторожде-

ний. Весьма крупные месторождения имеют запасы соответственно WO_3 и Mo (тыс. т) более 250 и более 100, крупные – 250–100 и 100–50, средние 100–50 и 50–25, мелкие – менее 50 и менее 25.

Крупные месторождения монометалльных и комплексных руд известны в Центральном Казахстане, Узбекистане, Забайкалье, на Дальнем Востоке, в Красноярском крае, Северном Кавказе и Закавказье.

Типы промышленных месторождений

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

В зарубежных 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 % добычи), причем из собственно молибденовых получают около 40 % молибдена (31 % запасов), а из комплексных медно-молибденовых – около 60 %. На остальные промышленно-генетические типы месторождений приходится менее 1 % производства молибденовых концентратов.

Гидротермальные плутоногенные 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 Mo колеблется от 0,3 до 2 %, WO_3 от 0,5 до 2,4 %. Масштаб запасов Mo до 10 тыс. т, WO_3 – до 25 тыс. т. К месторождениям данного типа относятся *Джида, Белуха, Букука, Шахтама* (рис. 12.7)*, Давенда, Бом-Горхон, Жирекен* в Забайкалье, *Шалгия* и *Верхнее Кайракты* в Казахстане. Подобные месторождения имеются в Португалии, Норвегии (*Кнабен*), КНР (*Ляндушань, Шанпин*), МНР (*Тумен-Цокто*), Бирме, Австралии, США (*Квеста*), Канаде (*Ред-Роуз, Босс-Маунтнн*).

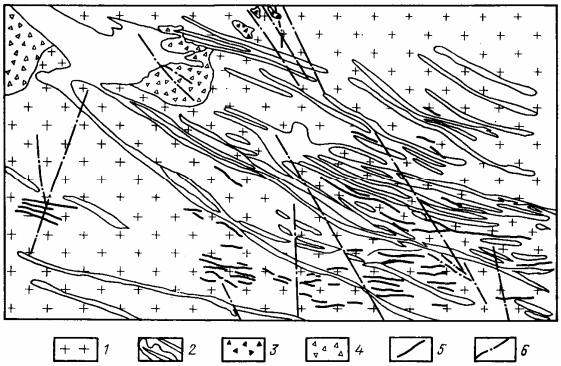


Рис. 12.7. Схема геологического строения месторождения Шахтама (по материалам *Шахтаминской ГРП): 1* – граниты и граносиениты; *2* – позднеюрские дайки лампрофиров, диорит-порфиритов, гранодиорит-порфиров; *3–4* – брекчии: *3* – эруптивные, *4* – биотитизированных гранитов; *5* – кварцевые рудные жилы; *6* – разломы

Гидротермальные плутоногенные среднетемпературные месторождения молибденовых и медно-молибденовых руд (порфировые) связаны с крупными интрузивами умеренно кислых гранитоидов, а также со штоками и дайками гранит-порфиров. Размещение оруденения контролируется региональными разломами и системами 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.

К этому типу принадлежат месторождения *Коунрад, Бозшаколь* (Казахстан), *Калмаккыр* (Средняя Азия), *Каджаран, Агарак* (Закавказье), *Сорское* (Западная Сибирь). Крупными месторождениями являются – *Медет* (Болгария), *Майданнек* (Югославия), *Эрденет* (Монголия), *Кляймакс, Бингем* (США), *Вэлли-Коппер* (Канада), *Токепала* (Перу), *Чукикамата* (Чили).

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 Mo 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 СНГ относятся месторождения *Тырныауз* (Кабардино-Балкария)*, Ингичке, Чорух-Дайрон, Майхура*. Наиболее крупными из зарубежных месторождений являются *Санг-Донг* (Южная Корея), *Азгур* (Марокко), *Пайн-Крик* (США).

Месторождение Караоба находится в Жана-Аркинском районе Карагандинской области в 100 км к югу от г. Каражал. Рудное поле слагают красноцветные песчаники и конгломераты франа, известняков фамена и перекрывающая их терригенно-карбонатная толща турне, которые пересекаются дайки и силлообразные тела диабаз-порфиритов, флюидных дацит-риолитов. Позже произошло становление многофазных гранитов Караобинского лакколита размером 6х12 км, глубиной распространения 0–1200 м. В субмеридиональном восточном гребне массива расположены основные рудные участки месторождения. Минеральный состав месторождения различный, здесь известны более 110 минералов. Основные промышленные минералы – вольфрамит и молибденит, к менее значимым относятся касситерит, топаз, козалит, берилл и флюорит. Нерудные минералы – кварц, микроклин, мусковит, серицит. Из 50 грейзеновых тел более 10 являются промышленными, их длина колеблется от десятков до 800 м, а мощность – 1–2 м. За ними идут кварц-вольфрамитовые жилы (их количество около 100), средняя длина которых 600–900 м, мощность от 0,5–0,7 до 2,0 м, а по вертикали распространены до 500 м. Рудная зональность довольно ясно наблюдается как по вертикали, так и по латерали. Выделяются руды двух типов: жильная и штокверковая. В жильном типе содержание вольфрама 0,735 %, висмута 0,101 %, молибдена 0,03 %, а в штокверковом – вольфрама 0,115 %, висмута 0,014 %, молибдена 0,015 %. Руды содержат олово, бериллий, серебро, тантал, ниобий, скандий, селен и теллур. Месторождение по масштабу среднее, его глубокие горизонты эксплуатируются подземным способом.

В недрах ***Казахстана*** заключено более 53 % запасов вольфрама СНГ. Балансом учтены запасы по 16 месторождениям, в том числе по

12 балансовым и 4 забалансовым.

Основные запасы сосредоточены в 6 крупных и уникальных месторождениях: *Верхнее Кайракты, Богуты, Караоба (штокверк), Северный Катпар, Коктенколь, Баян, Аксоран*. Остальные месторождения менее значимы: балансовые *Нураталды, Солнечное, Акмая*; забалансовые *Батыстау, Байназар, Чердояк, Гремячее*. Более 87 % запасов вольфрама промышленных категорий приходится на долю штокверковых руд с низким содержанием триоксида вольфрама (*Верхние Кайракты, Коктенколь*), что является основным сдерживающим фактором их освоения. Преобладание нерентабельных (неактивных) ресурсов вольфрамовых руд, заключенных в комплексных вольфрамомолибденовых месторождениях, характеризующихся крупными размерами и низким (до 0,2 %) содержанием триоксида вольфрама, делает эти ресурсы неконкурентными. В связи с этим главной проблемой является выявление новых месторождений с условно рентабельными вольфрамовыми рудами (скарновые, жильные, россыпные).

По запасам молибдена ***Казахстан*** занимает четвертое место в мире и первое среди стран Азии. Учтены запасы молибденовых руд по 34 месторождениям, из них 26 месторождений – балансовые, остальные – забалансовые. Среди них 16 месторождений собственно молибденовых и комплексных молибдено-вольфрамовых: *Коктенколь Южный, Шалгия, Жанет, Батыстау, Верхнее Кайракты, Караоба, Северный Катпар, Акшатау* и др. и 10 комплексных медно-молибденовых (молибдено-медно-порфировых) месторождений: *Актогай, Айдарлы, Бозшаколь, Каратас IV, Коксай, Коунрад, Борлы, Саяк, Шатыркул, Жайсан*. При этом 70 % запасов молибденовых руд заключено в собственно молибденовых и комплексных молибдено-вольфрамовых месторождениях, из них 50 % сосредоточено в существенно молибденовом *Коктенкольском месторождении (Южный участок)*. Основным промышленным типом молибденовых месторождений является штокверковый (порфировый). Удельный вес запасов месторождений этого типа составляет около 94 %.

Степень освоенности выявленных ресурсов молибдена низкая. Это обусловлено отсутствием предприятий – потребителей молибдена.

Все проблемы, связанные с производством молибдена, предполагается решать при разработке медно-молибденовых (молибден-медно-порфировых) месторождений.

Следует отметить значительные ресурсы молибдена, заключенные в комплексных молибден-уран-ванадиевых месторождениях Каратау и Таласа (*Баласауыскандык, Жабагылы, Корамсак*).

12.7. Алюминий

Общие сведения

Применение. Алюминий благодаря низкой плотности, высокой электропроводности, большой коррозионной устойчивости и механической прочности широко применяется в авиации, автомобиле- и судостроении, электротехнической промышленности, в изготовлении предметов быта. В мировом производстве известно более 500 тыс. изделий, полученных на его основе. Почти со всеми металлами (кроме свинца) алюминий образует сплавы и химические соединения.

Геохимия и минералогия. Кларк алюминия 8,05 %. Коэффициент его концентрации 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 $A1_2O_3 \cdot H_2O$ (85 % $A1_2O_3$), гиббсит (гидраргиллит) $A1_2O_3 \cdot 3H_2O$ (65,4 %), нефелин $Na[AlSiO_4]$ (34 %) и алунит $KAl_3[SO_4]_2(OH)_6$ (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 каменистые, рыхлые, оолитовые, бобовые, брекчиевидные, яшмовидные. Минимальное промышленное содержание глинозема в бокситах 25 %, отношение $A1_2O_3$:SiO_2 (кремневый модуль) более 2,6. Вредными примесями кроме SiO_2 являются также TiO_2, S, CO_2, V, Cr, Ca, Cu, Fe^{2+}, органическое вещество.

В качестве сырья для получения алюминия используются также нефелиновые сиениты, алуниты, некоторые сорта глин, анортозиты. Минимальное промышленное содержание глинозема в нефелиновых сиенитах 22 %, максимальное содержание Fe_20_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.

Запасы и добыча. Общие запасы бокситов – главного алюминиевого сырья – в зарубежных странах оцениваются в 57,0 млрд т, досто-

верные – 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 СНГ) колеблется в пределах 23–27 млн. т, алюминия – 10–12 млн. т в год.

Цены на алюминий варьируют от 2000 до 3500 $/т.

СНГ 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 (млн. т) подразделяют на очень крупные (>100), крупные (от 100 до 50), средние (от 50 до 15) и мелкие (<15).

Типы промышленных месторождений

Среди месторождений алюминия выделяют следующие типы:

1) бокситовые пластообразные латеритные месторождения – *Боке* (Гвинея), *Висловское* (Украина), месторождения Индийской платформы и Бразильского щита;

2) бокситовые линзо- и пластообразные летеритно-осадочные месторождения – Уэйпа (Австралия), *Вежаю-Ворыквинское* (Россия), месторождения Суринама, Гайаны, Гвианы;

3) бокситовые пластообразные осадочные месторождения карбонатных толщ – Северо-Уральский бокситоносный район (СУБР включает месторождения *Красная Шапочка, Кальинское, Черемуховское* и *Сосьвинское* – рис. 12.8), бокситы о-ва Ямайка, месторождения Франции, Венгрии, Греции;

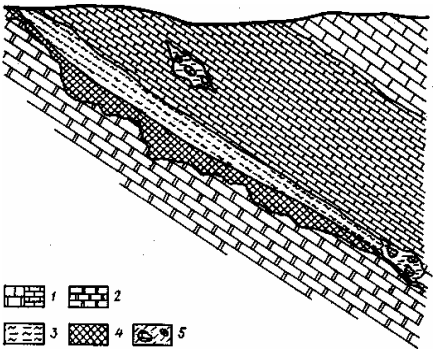


Рис. 12.8. Геологический разрез участка Кальинского месторождения СУБРа (по *Н.А. Быховеру*):
1–2 – известняки:
1 – кровли, *2* – почвы залежи;
3 – глинистые сланцы кровли залежи;
4 – бокситы;
5 – закарстованные участки

4) бокситовые пластообразные осадочные месторождения терригенных толщ – Северо-Онежская группа (*Тихвинское* и др.), Амангельдинская группа (*Аркалыкское* и др.);

5) месторождения нефелиновых руд – *Хибинские месторождения* (Кольский п-ов), *Горячегорское* и *Кия-Шалтырское* в Восточной Сибири и метаморфогенные месторождения высокоглиноземистого сырья – *Кейвское* (Кольский п-ов), *Кяхтинское* (Бурятия), *Китойское* (Иркутская обл.), *Чайнытское* (Якутия), месторождения Казахстана и Красноярского края, дистеновые месторождения разрабатываются в Индии и США.

Амангельдынская группа бокситовых месторождений расположена вблизи г.Аркалык Костанайской обл.. В состав ее входят пять обособленных месторождений: Аркалыкское, Северное, Верхне-Ашутское, Нижне-Ашутское и Уштобинское.

В геологическом строении района и месторождения принимают участие породы докембрия, палеозоя, мезозоя и кайнозоя. Складчатый фундамент сложен дислоцированными метаморфическими, изверженными и осадочными породами докембрия и палеозоя. На неровной поверхности интенсивно размытого складчатого фундамента горизонтально залегает толща мезо-кайнозойских отложений, представленных песчано-глинистыми образованиями (рис. 12.9).

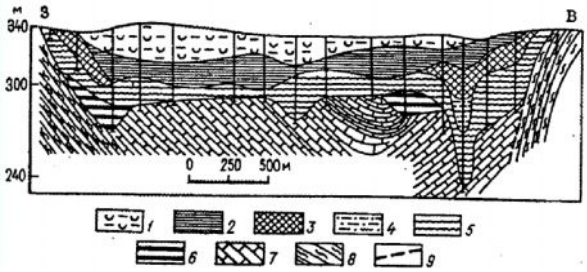


Рис. 12.9. Геологический разрез Аркалыкского месторождения (по *Г.С. Кирпалю*): 1–глины зеленовато-серые неогеновые; 2–глины пестроцветные палеогеновые; 3–бокситы каменистые рыхлые и глинистые; 4–углисто-глиноземистая порода; 5–глины подрудные; 6–глины коры выветривания; 7–известняки верхнего девона-нижнего карбона; 8–песчано-глинистые сланцы верхнего девона; 9–разрывные нарушения

Бокситоносная аркалыкская свита палеогена представлена в нижней части песчано-глинистыми отложениями, на которых расположены каменистые рыхлые, сахаристые и глинистые бокситы. Бокситы фациально смещаются гиббситсодержащими каолиновыми глинами. Геологические факторы промышленного освоения месторождений бокситов Амангельдынской группы рассмотрены на примере Верхне-Ашутского месторождения.

Рудные тела на Верхне-Ашутском месторождении представлены пластообразными и линзовидными залежами. Угол падения рудных тел (на месторождении выделено 23 тела) изменяется от 0 до 40°, при среднем значении 25°. Изменчивость угла падения и азимута простирания рудных тел переменная в их пределах. Глубина залегания месторождения от 15 до 120 м.

Характер контактов рудных тел с вмещающими породами как по висячему, так и лежачему бокам нечеткий. Мощность рудных тел изменяется от 1 до 20 м, составляя в среднем 5–6 м. Изменчивость мощности является переменной как в пределах самих рудных тел, так и в пределах отдельных технологических блоков.

Основные рудообразующие минералы бокситов – гиббсит, гематит и каолинит, а второстепенные – галлуазит, кварц, гетит, рутил, гипс, кальцит и др. Химический состав бокситов следующий (%): Al_2O_3 46,42–57,11, SiO_2: 9,57–14,54, Fe_2O_3 11,2–14,6. В качестве элементов-спутников в бокситовых рудах присутствуют барий и галлий. Вредными компонентами руд являются SiO_2, Fe_2O_3, CaO, S и CO_2.

Характер распределения основных компонентов в руде по коэффициенту вариации равномерный (V = 10–40 %). Изменчивость распределения основных компонентов в пределах рудного тела существенная (20–50 %), а в пределах технологического блока слабая (менее 20 %).

На месторождении проявляется вертикальная зональность, что связано с увеличением Al_2O_3 и Si_2O_3 с глубиной и уменьшением Fe_2O_3. Бокситовые руды разделяются на следующие сорта или типы: 1) гидрохимические (байеровские), 2) спекательные, 3) металлургические; 4) абразивные.

В Казахстане сосредоточены зачительные запасы бокситов. Запасы из 200 выявленных месторождений и проявлений учтены по более 50 месторождениям преимущественно платформенного типа. Среди учтенных крупные месторождения: *Краснооктябрьское, Белинское, Таунсорское, Восточно-Аятское, Коктальское, Наурзумское, Верхне-ашутское, Аркалыкское*. Последнее отработано, *Ашутское* – в значительной степени. Все названные месторождения расположены в Торгайском прогибе, где образуют Западно-Торгайский, Восточно-Торгайский (Амангельдинский) и Центрально-Торгайский бокситорудные районы. Балансовые запасы по районам – 82,8, 10,4 и 6,7 %. В то же время в Западно-Торгайском районе актуальны поиски бокситов, по качеству приближающихся к амангельдынским, что диктуется существующей технологией Павлодарского завода. Существенный резерв представляют бокситовые месторождения Центрально-Торгайского района (*Западно-Убоганское, Приозерное, Кушмурунское, Наурзумское* и др.), содержащие комплексное сырье (высокожелезистые и высокотитанистые бокситовые руды), требующие разработки новых безотходных схем технологической переработки с выделением из этих руд железисто-титанистых и глиноземных продуктов. Первые

результаты работ в этом направлении обнадеживающие. Это позволяет рассматривать Центрально-Торгайский район как возможную самостоятельную сырьевую базу для нового предприятия по производству глинозема.

В других районах известны бокситовые месторождения *Талды-Ащисайское* (2,1 % от общих запасов, Мугалжары) и более мелкие: *Майбалык, Конарлы, Акмолинское* и др. (Центральный Казахстан), *Фогелевка, Уртабас, Кутырган* и др. (Южный Казахстан).

Кроме того, в Казахстане сосредоточены крупные запасы небокситовых видов алюминиевого сырья: высокоглиноземистые сланцы (кианитовые, андалузитовые и др.) и каолинитовые глины, а также алунитовые и нефелин-апатитовые руды.

12.8. Медь

Общие сведения

Применение. Медь обладает высокой электро- и теплопроводностью, химической устойчивостью, ковкостью, тягучестью, и поэтому используется в различных отраслях промышленности: электротехнической и средств связи (50 %), машиностроительной (25 %), строительной, пищевой и химической (25 %).

Широко известны сплавы меди с оловом, свинцом, алюминием, кремнием, бериллием (бронзы), цинком (латунь), никелем (мельхиор) и др.

Геохимия и минералогия. Кларк меди 0,01 %, коэффициент концентрации – 200. 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 %), халькозин Cu_2S (79,8 %), ковеллин CuS (66,4 %), блеклые руды $Cu_3(AsSb)S_3$ (52–57 %), куприт CuO_2 (88,8 %), малахит $Cu_2CO_3(OH)_2$ (57,4 %), азурит $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$ (55,3 %) и хризоколла $CuSiO_3nH_2O$ (36,1 %).

Типы руд и кондиции. Медные руды делятся на два промышленных типа: сульфидные и окисленные, 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 %.

Запасы и добыча. Общие мировые (без СНГ) запасы меди состав-

ляют 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 6000–9000 $/т.

По масштабам 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.

Типы промышленных месторождений

Среди промышленных месторождений меди по генетическому признаку выделяются магматические, гидротермальные плутоногенные, скарновые, вулканогенно-осадочные, гидротермально-осадочные (стратиформные). В СНГ основными промышленными типами являются:

1) гидротермально-осадочные, т.е. стратиформные (34 % запасов, 29 % добычи) – *Жезказган, Итауз идр.* (Казахстан), *Удокан* (Забайкалье), *Предсудетское* (Польша), *Мансфельд* (Германия), *Айнак* (Афганистан), *Роан-Антилоп, Чамбиши, Нчанга* (Замбия – рис. 12.10), *Камото, Мусоши* (Конго) и др.;

2) вулканогенно-осадочные медно-колчеданные (соответственно 17,5 и 23 %) –на Урале (*Дегтярское, Учалы, Гай, Сибай*), Кавказе (*Уруп, Филизчай, Алаверды, Шамлуг*). За рубежом в Испании (*Рио-Тинто*), Югославии (*Бор*), Турции (*Эргани*), Швеции (*Болиден*), Канаде (*Кидд-Крик*), США (*Юнайтед-Верде*), Японии;

3) гидротермальные медно-порфировые (18 и 16 %) – в Казахстане (*Актогай*, *Коунрад, Бозшаколь*), Средней Азии (*Калмаккыр*), Армения (*Каджаран, Агарак*), Западной Сибири (*Сорское*). Крупные месторождения известны в Болгарии (*Медет, Асарел*), Югославии (*Майданпек*), Иране (*Сары-Чешме*), Монголии (*Эрденет*), США (*Кляймакс, Бингем, Бьютт*), Канаде (*Вэлли-Копер, Эндако*), Перу (*Токепала*), Чили (*Эль-Тениенте, Чукикамата*);

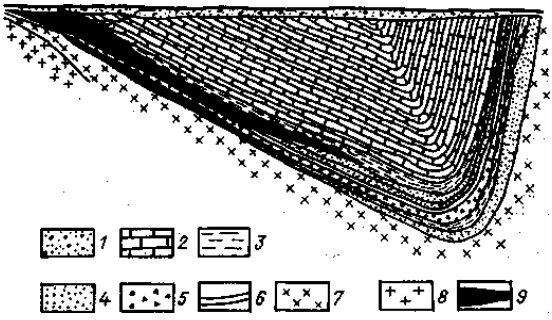


Рис. 12.10. Геологический разрез через синклиналь Нчанга: *1*–слой обломочного кварца и поверхностные отложения; *2*–аргиллиты и доломиты; *3*–полосчатые сланцы; *4*–полевошпатовые кварциты; *5*–полосчатые песчаники; *6*–кварциты и кремнистые сланцы; *7*–аркозы; *8*– граниты; *9*–рудные тела

4) магматогенные медно-никелевые (18 и 16 %) – магматические ликвационные месторождения сульфидных медно-никелевых руд рассмотрены в разделе 12.5 «Никель, кобальт».

За рубежом главное значение имеют гидротермальные медно-порфировые (65 % запасов, 60 % добычи), гидротермально-осадочные (20 и 18 %) и вулканогенно-осадочные медноколчеданные (8 и 11 %);

5) скарновые месторождения – на Урале (*Турьинская группа*), в Казахстане (*Саякская группа*), Киргизии (*Курутегерек*), Западной Сибири (*Хакасская группа*). Подобные месторождения известны в США (*Бисби*, Клифтон), Мексике (*Долорес*), Японии (*Ягука*), Румынии (*Банат*).

Краткая характеристика месторождений меди

Жезказганское месторождение (рис. 12.11). В рудном районе обнажены верхнепалеозойские (карбон-пермь) осадочные породы, слагающие синклинальную складку меридионального направления, осложненную разрывными нарушениями северо-восточного простирания. Жезказганская рудоносная толща разделяется на две свиты: таскудукскую и жезказганскую. В составе этих свит выделяются соответствующие рудоносные горизонты и рудные залежи, распределение которых по геолого-промышленным участкам месторождения показано в табл. 12.2.

Таблица 12.2

Распределение рудных залежей по рудоносным свитам и геолого-промышленным участкам Жезказгана

Свита	№ рудоносного гор. – название	Кол-во рудных залежей по участкам						
		общее	АС	Зл	ПС	ПЮЗ	Кр	Ан
Жезказганская C_3dz	10 – Переходный	1	1	-	-	-	-	-
	9 – Анненский	4	4	-	3	4	3	4
	8 – Акший	2	2	1	2	2	2	2
	7 – Кресто	3	2	1	3	3	3	3
	6 – Верхний раймунд	3	3	2	3	2	2	2
	5 – Средний раймунд	3	3	3	3	3	2	2
	4 – Нижний раймунд	2	-	2	2	2	1	2
Таскудукская C_2ts	3 – Покро	3	-	3	3	-	3	2
	2 – Златоуст	5	-	3	3	-	3	2
	1 – Таскудукский	2	-	2	-	-	-	1
Всего:		28	15	19	23	16	19	23

Оруденение многоярусное. Пластообразные рудные тела приурочены к горизонтам серых полимиктовых песчаников. Основное значение для локализации оруденения имеют брахискладки сундучного типа с зонами дробления. Рудные тела представлены пластами. Угол падения рудных тел до 8°, во флексуре 35–90°. Изменчивость угла падения выдержана

в пределах рудного тела, но переменная в пределах месторождения. Изменчивость азимута простирания также выдержана в пределах рудных тел. Глубина залегания месторождения до 500–600 м.

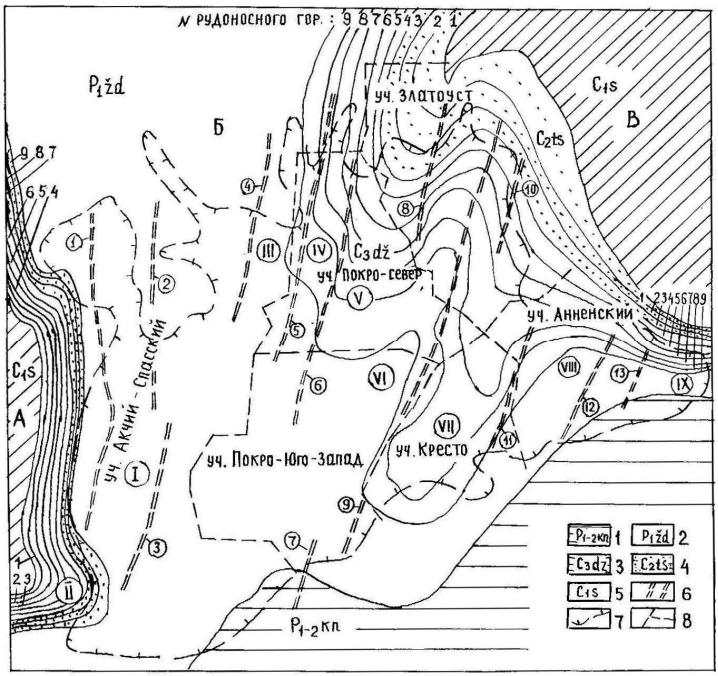


Рис. 12.11. Геолого-промышленная схема Жезказганского месторождения (*по материалам Жезказганской ГРЭ*). Структуры первого порядка: А–Жанайская антиклиналь; Б–Жезказганская синклиналь; В–Кенгирская антиклиналь. Структуры второго порядка: I–Спасская мульда; II–Акчийский купол; III–вторая блок-ступень; IV–первая блок-ступень; V–Покровский купол; VI–Златоустовская мульда; VII–Крестовский купол; VIII–Анненская мульда; IX–Анненский купол. 1–4 свиты: 1–кенгирская; 2–жиделисайская; 3–жезказганская; 4–таскудукская; 5–серпуховские отложения; 6–флексуры; 7–совмещенный контур рудных залежей. Название флексур (цифры в кружках): 1–первая Предбортовая; 2–вторая Северная; 3–третья Акши-Спасская; 4–Петровская западная; 5–Петровская вторая; 6–Петровская основная; 7–первая Южная; 8–Злотоустовская; 9–Крестовская; 10–Раймундовская; 11–Карпиенская; 12–первая Анненская; 13–вторая Центральная Анненская

Рудные тела четких геологических границ не имеют, контуры их определяются опробованием. Средняя мощность рудных тел изменяется от 4–5 до 20 м, предельная мощность достигает 40 м. Изменчивость мощности является переменной в пределах отдельных рудных тел. Усложнение формы и внутреннего строения тел обусловлено

переслаиванием красноцветных вмещающих пород с рудными телами. Характер выклинивания рудных тел от простого до сложного.

Руды Жезказганского месторождения комплексные: главный полезный компонент – медь, существенное значение имеют также свинец и цинк, а из примесей серебро, рений и осмий; в незначительных количествах присутствуют мышьяк, кадмий, висмут, кобальт, ртуть, золото, никель и молибден. Минеральный состав руд сравнительно прост. Основная масса меди сконцентрирована в халькопирите, борните и халькозине. Свинцовая минерализация представлена галенитом, а цинковая – сфалеритом. Серебро присутствует в рудах в виде самостоятельных минералов (в т.ч. и самородное серебро) или же входит в виде изоморфной примеси в решетки сульфидов. Из минералов-примесей в рудах установлены также пирит, марказит, арсенопирит, бетехтинит, арсениды меди и кобальта, блеклые руды.

На месторождении отмечается четкая вертикальная зональность в распределении медных полиметаллических (медно-свинцовых) и свинцовых руд. Мощность зоны окисления достигала 100 м (в настоящее время полностью отработана).

При геолого-технологическом картировании на месторождении выделено пять промышленных типов (сортов) руд: медно-окисленные – 17 %; медно-смешанные – 6 %; медно-сульфидные – 74,8 %, медно-свинцовые – 0,4 %; свинцовые – 1,8 %. По качеству руды разделяются на богатые – 30 %, рядовые – 37 %, бедные – 30 % и весьма бедные – 3 %.

Актогайское рудное поле включает крупные медно-порфировые месторождения Актогай и Айдарлы, мелкое месторождение Кызылкия и два слепых, плохо изученных, рудных штокверка. Рудное поле приурочено к Колдарской гранитоидной интрузии, прорывающей вулканиты керегетасской свиты среднего-верхнего карбона и перекрытой вулканогенно-осадочными породами колдарской свиты верхнего карбона-нижней перми. Интрузия многофазная. Оруденение развивается в гранодиоритах, диоритах и ороговикованных породах керегетасской свиты.

Актогай – крупное медно-порфировое месторождение со средним содержанием меди 0,39 %, молибдена 0,01 %, рения 0,24 г/т, золота 0,22 г/т, серебра и селена 1,8 г/т. Рудный штокверк месторождения представляет собой полузамкнутый толстостенный эллипс с безрудным ядром, вытянутый в субмеридиональном направлении на 2500 м при ширине 50–830 м. Оруденение выклинивается на глубине свыше 800 м. Центром штокверка служит шток гранодиорит-порфиров с фельзитовой и микропойкилитовой основной массой, вмещающий трубку брекчий на турмалинизированном цементе (рис. 12.12).

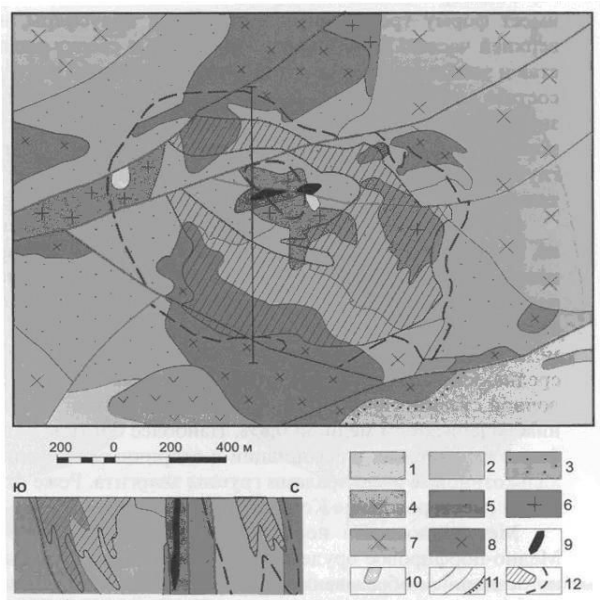


Рис. 12.12. Геологическое строение месторождения Актогай: 1 – песчаники, гравелиты с прослоями туфов липаритов и дацитов колдарской свиты; 2 – туфы дацитов и андезит-дацитов керегетасской свиты; 3 – роговики и ороговикованные порфириты и туфы керегетасской свиты; 4 – штоко- и дайкообразные тела андезит-дацитовых порфиритов; 5-8 – гранитоиды, диориты и габбро-диориты Колдарской интрузии; 9 – тела брекчий на турмалинизированном цементе; 10 – кварцевые тела; 11 – контакты тектонические, интрузивные и несогласные; 12 – границы рудных тел и рассеянной рудной минерализации

Выделено четыре стадии гидротермального процесса: щелочная (окварцевание, калишпатизадая, биотитизация, хлоритизация, пренитизация), кислотная (окварцевание, серицитизация, хлоритизация и карбонатизация), бороалюмосиликатная (турмалинизация), поздняя щелочная (карбонатизация, цеолитизация, пренитизация, хлоритизация). Промышленная ценность месторождения обусловлена проявлением первых двух стадий. Две последние стадии существенной рудной нагрузки не несут.

Основное оруденение месторождения связано со щелочной стадией. Ее развитие определило форму и размер рудных тел. Оруденение приурочено к переходным зонам колонки, в которых биотитизированные породы замещаются кварцем и калиевым полевым шпатом. Халькопирит тесно связан с пренитом. За пределами пренитовых прожилков и гнезд халькопирит встречается редко. Здесь отмечается вкрапленность магнетита и пирита, которые обычно ассоциируют с темноцветными минералами. Менее четко связь с пренитом выражена для молибденита.

Рудные минералы кварц-серицитовых метасоматитов представ-

лены обильной вкрапленностью пирита, редким молибденитом, иногда сфалеритом и галенитом. Минералы меди в них редки. Но в зоне частичной серицитизации, где она развита в контуре рудных тел щелочной стадии, они обильны. Медь, выщелоченная в зонах максимальной серицитизации, отлагалась по их обрамлению, образуя здесь наиболее богатые медные руды.

Месторождение Айдарлы целиком расположено в гранодиоритах. Рудное тело имеет форму трехосной эллиптической полусферы, выходящей на поверхность своей крайней верхней частью и окаймляющей с боков и сверху расположенное на глубине безрудное ядро. Состав и зональность гидротермалитов аналогичны месторождению Актогай. Отличие заключается в составе внешней зоны гидротермалитов щелочной стадии на Айдарлы она представлена хлоритизированными и эпидотизированными гранодиоритами, что характерно и для других медно-порфировых месторождений, локализованных в гранитоидах. В южной части месторождения на глубоких горизонтах развит ангидрит, а в местах интенсивной ангидритизации в пренит-халькопиритовой ассоциации в заметном количестве присутствует магнетит.

Саякский рудный район объединяет несколько пространственно разобщенных скарновых месторождений, зоны штокверковой медно-порфировой минерализации и кварцево-жильных объектов: Саяк 1, Саяк 2, Саяк 3, Саяк 4, Тастау, Молдыбай, Жамбас, Жумбак, Интрузивное, Жанасаяк, Саяк 5, Беркара и др. Саякская группа скарновых месторождений четко контролируется пликативными осложнениями грабен-синклинали, находящимися в зоне воздействия гранитоидных интрузий. Меднопорфировые объекты в гранитоидах тяготеют к узлам пересечений зон повышенной деформированности (рис. 12.13).

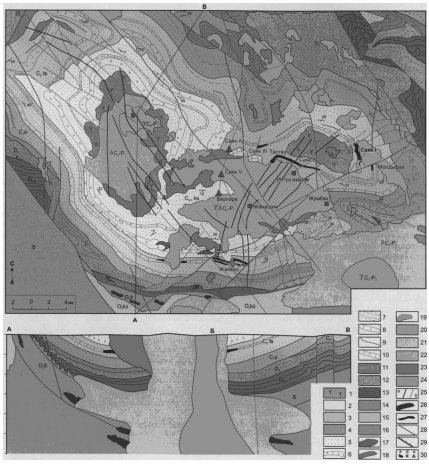


Рис. 12.13. Геологическая позиция месторождений Саякской группы (по *Г.П.Бурдукову*): 1–ушмалинская свита (C_{1-3}); 2-10–отложения саякской серии; 11-15–породы C_1–D_{2-3}; 14-15–отложения S и O_3; 16–кремнисто-базальтовые образования итмурундинской свиты (O_2it); 17-19–субвулканические тела; 20-24–интрузии гранитоидов C_3–P_1; 25–дайки; 26–гипербазиты; 27–скарны; 28-29–разрывные нарушения; 30–Au-Mo-Cu месторождения

Грабен-синклинальный прогиб выполнен нижне-среднекаменноугольными туфогенно-терригенными отложениями саякской серии: пестро перемежающимися полимиктовыми песчаниками, туфопесчаниками, алевролитами, туфоалевролитами, туффитами, туфами кислого и среднего состава, гравелитами, конгломератами и известняками, расчленяющимися на буруктасскую, тастыкудукскую и кунгисаякскую свиты. Широко развиты рвущие вулканогенно-осадочные отложения позднекаменноугольно-раннепермские гранитоидные интрузии, образующие ряд обособленных массивов (Умит, Кунгейсаяк, Лебай Акшокы, Жамбас и др.) гранодиорит-монцогранодиоритового, плагиогранит-гранитового и диорит-монцодиорит-габбрового состава. Они сопровождаются многочисленными (десятки тысяч) дайками.

Для рудного района характерно широкое развитие зонально расположенных ореолов рассеяния Cu, Mo, W, As, Bi и Pb, охватывающие в основном гранитоидные массивы и зоны их экзоконтактового воздействия. Наиболее крупная Умитская ореольная зона простирается в северо-восточном направлении на 17 км при ширине 4–6 км, а Лебайская – вытянута на 15 км вдоль съеденной интрузией одноименной антиклинали, трассирующей разлом фундамента. Скарново-рудные месторождения и проявления меднопорфировой минерализации обрамляются наиболее интенсивными по содержанию металлов ореолами рассеяния. Слепые глубокозалегающие скарново-рудные объекты отмечаются более мелкими ореолами Pb, As и Cu более низкой интенсивности.

Казахстан занимает одно из ведущих мест в мире по запасам медных руд. Балансом утверждено 30 месторождений. Среди них уникальное по запасам и набору полезных ископаемых месторождение Жезказган, являющееся самой крупной сырьевой базой меднорудной промышленности республики.

К крупным относятся месторождения *Коунрад, Актогай, Айдарлы, Жаман-Айбат, Бозшаколь, Коксай, Каскармыс, Нурказган (Самарское)*. Из общего количества около 70 месторождений собственно меднорудных 30, остальные относятся к комплексным, медьсодержащим. Основными геолого-промышленными типами медных месторождений (по добыче) являются месторождения медистых песчаников (58 %), медно-колчеданные (17,1 %), медно-порфировые (8,2 %), скарновые (4,2 %) и др. В общем балансе запасов руды типа медистых песчаников составляют 28 %, медно-порфировые – 42 %.

Месторождения медистых песчаников *Жезказган, Жаман-Айбат, Сарыоба, Итауз* и др. расположены в Центральном Казахстане, медно

порфировые – в Центральном (*Коунрад, Бозшаколь, Борлы, Нурказган, Кызылту* и др.) и Южном (*Коксай, Актогай, Айдарлы, Каскырмыс, Восток I–IV*) Казахстане. Среди медно-колчеданных выделяются месторождения: *им. 50 лет Октября, Приорское, Авангард, Аралчинское* и др. в Мугалжарах; *Акбастау, Космурун* в Чингизе. Из медно-скарновых наиболее известными являются месторождения *Саяк, Каратас*, из кварц-сульфидных (жильные медные) – *Шатыркул, Жайсан*.

Кроме перечисленных ведущих типов в Казахстане известны месторождения медно-никелевые (*Максут, Койтас, Камкор*), медно-цеолитовые типа "манто" (*Темирлик*) и др.

Перспективы выявления новых промышленных месторождений меди в Казахстане еще значительные. Сегодня медная промышленность республики обеспечена сырьевой базой.

12.9. 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.

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 Cu_2FeSnS_4 (27,5 %).

Типы руд и кондиции. Олово извлекают из касситерит-силикатных, касситерит-сульфидных и касситерит-вольфрамитовых руд. По содержанию металла их разделяют на богатые (>1 %), средние (6,4–1 %) и бедные (0,2–0,4 %). Минимальное промышленное содержание олова составляет 0,1 % в коренных месторождениях и 200 г/м^3 – в россыпях.

Запасы и добыча. Общие запасы олова в капиталистических и развивающихся странах составляют 7,3 млн. т, достоверные – 4 млн. т. Основная часть их сосредоточена в Индонезии (0,7 млн. т), Малайзии (0,6 млн. т), Боливии и Бразилии (по 0,5 млн. т), Таиланде (0,4 млн. т). Производство олова в концентрате приходится в основном на Малайзию, Бразилию, Индонезию и Таиланд.

Цена 1 кг олова в пределах $15–25.

В СНГ крупные месторождения располагаются в Магаданской

области, Республике Саха, Забайкалье, Приморье, Кыргызстане. По запасам металла (тыс. т) месторождения олова делятся на весьма крупные (>100), крупные (25–100), средние (5–25), мелкие (<5).

Типы промышленных месторождений

Среди промышленных месторождений по генезису выделяются:

1) пегматитовые (4,2 % мировых запасов, 3,4 % добычи) – широко развиты и разрабатываются в Заире (*Маноно-Китотоло*), Зимбабве, США (*Сильвер-Хилл*), Канаде (*Берд-Ривер*);

2) гидротермальные плутоногенные (14,6 и 16,2.%) разделяются на два типа:

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

б) касситерит-силикатно-сульфидный – месторождения *Хапчеранга* (Забайкалье), *Эге-Хая, Депутатское* (Якутия), *Хрустальное* (Приморье) – рис. 12.13, *Валькумей* (Чукотка), *Корнуолл* (Великобритания), *Маунт-Плезант* (Канада), *Рениссон-Белл* (Австралия), *Менсон-Лод* (Малайзия);

3) гидротермальные вулканогенные (11,3 и 9,3%) – в Приморье (*Смирновское*), Малом Хингане России (*Джалинда, Хинганское*), Забайкалье, Боливии (*Ллалагуа, Потоси, Оруро*), Мексике (*Дуранго*), Японии (*Акенобе*), КНР;

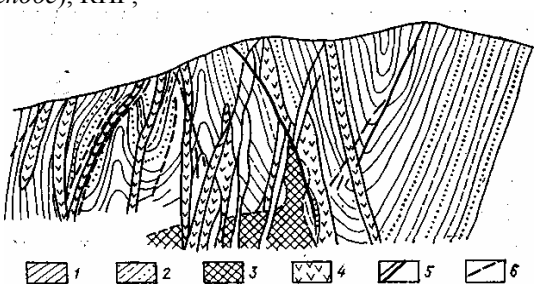


Рис. 12.13. Геологический разрез Хрустального месторождения (по *Ф.И. Вольфсону* и *А.В. Дружинину): 1*–алевролиты; *2*–переслаивание песчаников и алевролитов; *3*–биотитизированные породы; *4*–дайки; *5–6* – рудные жилы: *5*–касситерит-сульфидные; *6*–сульфидные

4) грейзеновые (6,4 и 3,8 %) – *Этыка* (Забайкалье), *Экуг* (Чукотка), *Кестер, Бутыгычаг* (Республика Саха), *Олонойское* (Малый Хинган), *Чапаевское* (Приморье), *Актас* (Казахстан). Такие месторождения известны в Германии (*Альтенберг*), Чехии (*Циновец*), КНР (*Лиму*), Бирме (*Маучи*), США;

5) скарновые (1,1 и 1,2 %) – в Приморье (*Ярославское*), Средней

Азии (*Майхура*), Карелии (*Питкяранта*, *Кителя*), в КНР (*Лаочан*), Малайзии, Индонезии (*Клаппа*), Мексике (*Сан-Антонио*);

6) осадочные россыпные (62,4 и 66,1 %) – оловоносные россыпи известны на Чукотке (*Пыркакай*), в Республике Саха (*Депутатское*), Приморье (*Воскресенское*), в Малайзии (*Кинта, Перак*), Индонезии (*Банка*), Таиланде, КНР (*Нюшипо*), Вьетнаме (*Тин-Тук*), Бразилии, Заире (*Маноно-Китотоло*), Нигерии (*Баучи, Джос*).

Наиболее крупные месторождения россыпного олова – *Перак, Кинто, Селангор, Негри, Сембилан* – находятся в Малайзии, где всего известно более 500 приисков и рудников. *Месторождение Перак* дает до 60 % добычи олова.

В Казахстане до последнего времени было известно только одно коренное, небольшое по масштабам собственно оловянное месторождение промышленного значения – *Карагайлы-Актас* (Южный Казахстан), а также учтенная балансом россыпь *Орлиногорская* (Северный Казахстан) с оловом в качестве попутного компонента. Открытие в Северном Казахстане крупных по запасам оловорудных месторождений *Сырымбет* и *Донецкое* значительно расширило и укрепило сырьевую базу по олову. До этого балансом были учтены запасы 5 месторождений с попутным оловом, главным образом, в комплексных редкометалльных рудах месторождения *Калайы-Тапкан* (около 70% от общих запасов), а также на месторождениях *Караобинское, Бакенное, Юбилейное, Ахметкино*. Добыча попутного олова при разработке тантал-ниобиевых и кварцево-вольфрамитовых месторождений по некоторым данным не превышала 120–130 т олова в год, при общей потребности республики около 5,0 тыс.т. Крупнейшим потребителем олова является Карметкомбинат. Таким образом, в Казахстане наблюдается значительное опережение потребления олова над его добычей и производством. С открытием, разведкой и освоением оловорудных месторождений *Сырымбет* и *Донецкое* республика может не только удовлетворить собственную потребность в олове, но и поставлять продукцию на экспорт.

Прогнозные ресурсы республики по олову оцениваются достаточно высоко, прежде всего, в Кокшетауском районе Северного Казахстана.

12.10. 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 антикоррозиинными свойствами, применяется для оцинкования различных изделий (40 %), получения латуни, бронзы, мельхиора, цинковых белил.

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 $Zn_4[Si_2O_7](OH)_2 \cdot H_2O$ (53,7 %). Ведущая роль в рудах принадлежит галениту и сфалериту.

Типы руд и кондиции. В промышленных месторождениях выделяют следующие типы руд: свинцовые, цинковые, свинцово-цинковые и полиметаллические (с медью, кадмием, германием, индием, галлием, кобальтом, никелем, висмутом, оловом, мышьяком, селеном, сурьмой). Главное промышленное значение имеют последние два типа руд. Минимальное промышленное содержание свинца в преимущественно свинцовых рудах 3 %, цинка в цинковых рудах 5 %. В свинцово-цинковых рудах содержание свинца должно быть не ниже 1 %, цинка 2 %. Для комплексных полиметаллических руд требования по содержанию главных компонентов еще более снижаются.

Запасы и добыча. Общие запасы свинца (без СНГ) оцениваются в 177 млн. т, цинка – 319 млн. т, достоверные соответственно равны 112 и 270 млн. т. Большинство 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.

Цены на свинец и цинк на мировом рынке изменяются соответственно в пределах 1800–3800 $/т.

Запасы свинца и цинка сосредоточены в многочисленных месторождениях Казахстана, Средней Азии, Сибири, Дальнего Востока и Кавказа. По запасам (млн. т) месторождения делят на весьма крупные (>2), крупные (0,6–2), средние (0,2–0,6) и мелкие (<0,2).

Типы промышленных месторождений

Все месторождения свинца и цинка по генезису подразделяются на следующие типы:

1) гидротермальные плутоногенные месторождения – на Кавказе

(*Садон, Згид, Холст*), в Средней Азии (*Кургашинкан*), Забайкалье (*Нерчинская группа*), Болгарии (*Мадан, Руен*), Чехии (*Пршибрам*), Венгрии (*Дьендьешороши*), Германии (*Фрайберг*), Индии, США (*Тинтик, Ледвилл*), Канаде и др.;

2) скарновые месторождения – в Приморье (*Дальнегорское*), Казахстане (*Аксоран, Гульшад*), Средней Азии (*Алтын-Топкан, Кансай, Дарбаза*), США (*Лоуренс*), Мексике (*Эль-Потоси*) и др.;

3) вулканогенно-осадочные полиметаллические колчеданные месторождения – Казахстана (*Жайрем, Текели*), Рудного Алтая (*Зыряновское, Лениногорское, Риддер-Сокольное, Тишинское, Малеевское*), Прибайкалья (*Холоднинское*), Забайкалья (*Озерное*), Кавказа (*Филизчай, Маднеули*), Канады (*Сулливан*) и др.

4) гидротермально-осадочные (стратиформные) месторождения – в Казахстане, (*Миргалимсай, Шалкия*), Средней Азии (*Уч-Кулач, Сумсар, Джергелан*), Польше (*Олькум, Болеслав*), США (*Миссисипи-Миссури*), Канаде (*Пайн-Пойнт*) и др.

Краткая характеристика месторождений

Лениногорское месторождение находится на Рудном Алтае у г. Риддера. Месторождение приурочено к вулкано-тектонической депрессии, сложенной среднедевонскими породами и разбитой разрывными нарушениями. Линзообразные рудные тела залегают в крыльях складки согласно напластованию пород вблизи разрывных нарушений, которые служили рудоподводящими каналами (рис. 12.14).

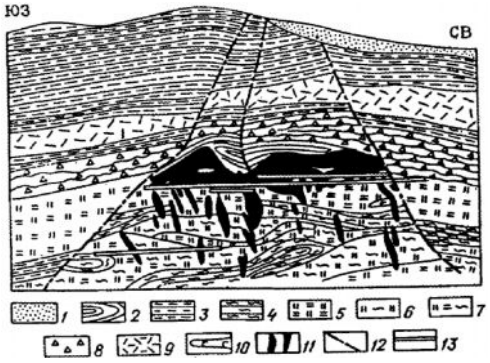


Рис. 12.14. Геологический разрез рудной залежи «Победа» Сокольного месторождения Лениногорского рудного поля: *1* – четвертичные отложения; *2* – алевролиты; *3* – известковистые алевролиты; *4* – серицитизированные глинистые алевролиты; *5* – микрокварциты (роговики); *6* – серицит-хлорит-кварцевые метасоматиты; *7* – серицитовые микрокварциты; *8* – агломератовые средне- и крупнообломочные туффиты; *9* – кварцевые альбитофиры; *10* – диабазы, диабазовые порфириты; *11* – сульфидные рудные тела; *12* – разрывные нарушения; *13* – горные выработки

Вмещающими для рудных тел являются окварцованные и серицитизированные породы, образовавшиеся путем замещения горизонта кислых туфов. Перекрывающие этот горизонт глинистые сланцы служили экраном для рудоносных растворов, поэтому непосредственно под ними и располагаются наиболее богатые рудные тела. На месторождении при подсчете запасов выявлено 3200 рудных тел, из них 200 вовлечены в разработку; тела преимущественно сложной формы, представлены линзами и жилами. Мощность рудных тел изменяется от 2 до 40 м.

Состав руд типичен для алтайских месторождений. Они состоят из галенита, сфалерита, халькопирита, блеклых руд, кварца, барита, серицита и др. Текстуры руд в основном вкрапленные, реже массивные, реликтово-полосчатые; структуры тонкозернистые. При геолого-технологическом картировании на месторождении выявлены следующие промышленные типы руд: окисленные свинцово-цинковые – 4,7 %, смешанные свинцово-цинковые – 2,8 %; сульфидные свинцово-цинковые – 92,5 %. По качеству руды относятся к рядовым.

Основными компонентами руд являются свинец, цинк, медь, золото, серебро, элементами-спутниками – кадмий и сера. Характер распределения Pb, Zn и Cu неравномерный, а Au, Ag – крайне неравномерный. На месторождении отмечается вертикальная зональность и зона окисления руд.

Месторождение Жайрем в Центральном Казахстане сложено девонскими вулканогенно-осадочными, а также каменноугольными глинисто-карбонатными и песчано-аргиллитовыми породами. Магматические образования представлены субвулканическим телом трахитовых порфиритов. 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.

Миргалимсайское месторождение (рис. 12.15) 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.

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.

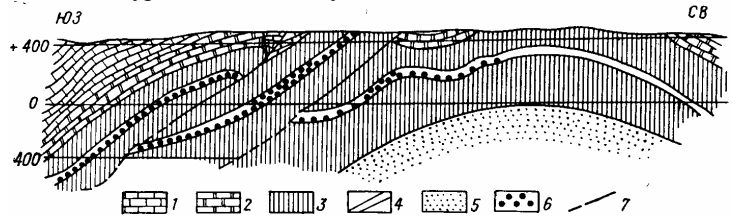


Рис. 12.15. Схематический геологический разрез месторождения Миргалимсай (по материалам *Миргалимсайской ГРП): 1* – известняки (C_1); *2* – доломиты (C_1); *3* – брекчированные известняки (D_3fm); *4* – рудоносный горизонт в толще D_3fm; *5* – аркозовые песчаники (D_3fr); *6* – послойные залежи прожилково-вкрапленных барито-свинцовых руд; *7* – разрывные нарушения

Месторождение Шалкия является крупным рудным объектом девонского углеродисто-кремнисто-доломитово-известнякового серебряно-бариево-свинцово-цинкового металлогенического комплекса герцинского рифтогенного трога Каратау. Характерны преобладание цинка над свинцом и отсутствие баритового оруденения. Отношение свинца к цинку колеблется от 1:2 до 1:20, возрастая к северо-западной части месторождения. Среднее содержание Pb 0,89 %, Zn 3,2 %.

Месторождение находится в участке периклинального замыкания Акуюкской синклинали, в пределах погребенной под аллахтонным покровом Центрального надвига. Проекция шарнира в плане практически совмещается с осевой частью надвинутого чешуйчатого покрова Акуюкской синклинали. Рудовмещающий блок погружается под Центральный надвиг (под углом 10–15°) и прослеживается под юго-западным крылом Акуюкской синклинали на глубине 500–800 м. Важным складчатым элементом Рудовмещающего блока является лежачая синклинальная складка, сопровождаемая параллельными её осевой плоскости субвязким разломом и зонами кливажирования пород, в которых происходила интенсивная регенерация седиментной рудной минерализации (рис. 12.16).

Свинцово-цинковое оруденение развито в узком стратиграфическом интервале жанакорганского горизонта верхнего фамена, в пределах продуктивной пачки мощностью 100–140 м, отличающейся от подстилающих и перекрывающих известняков преобладанием доломи-

та и кварца над кальцитом и широким присутствием углеродистого вещества. На месторождении выделено две основных рудных залежи. Нижняя залежь занимает среднюю подпачку ритмитов, Верхняя – обособляется в нижней половине верхней подпачки ритмитов. За нижней ритмитовой подпачкой закрепилось название пиритовые ритмиты. Оба рудные тела имеют пластовую форму, значительную протяженность по простиранию (1600–2500 м) и падению (600–1300 м). Вместе с вмещающими отложениями они смяты в складки и нарушены разрывами. Суммарное содержание свинца и цинка в Нижней рудной залежи почти вдвое больше, чем в Верхнем рудном теле при практически равных мощностях.

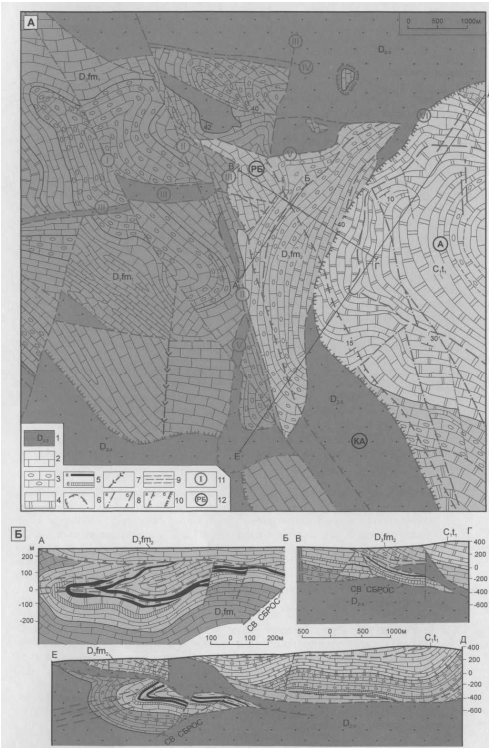


Рис. 12.16. Геологическая карта (А) и разрезы (Б) месторождения Шалкия: 1 – песчаники, алевролиты и аргиллиты тюлькубасской свиты (D_{2-3}); 2-4 – фаменнтурнейские известняки и доломиты; 5 – рудные тела промышленные (а) и некондиционные (б); 6 – рудные залежи; 7 – дайки щелочных лампрофиров; 8 – разрывы установленные (а) и предполагаемые (б); 9 – субвязкие разломы; 10 – надвиговые швы; 11 – разрывные нарушения: I, II – Главный (его ветви), III – Шалкиинский, IV – Северный, V – Центральный надвиг, VI – Огузмуюкский; 12 – складки: А – Акуюкская синклиналь, РБ – рудовмещающий блок, КА – Кызылсайская антиклиналь

Главные минералы руд – сфалерит, галенит, пирит, доломит, кварц, кальцит, серицит, углеродистое вещество; второстепенные – арсенопирит, блеклая руда, ангидрид, хлорит; редкие и очень редкие – халькопирит, бурнонит, буланжерит, флюорит, мусковит, апатит, ка-

лишпат. Они формируют три основные разновозрастные парагенетические ассоциации: ранняя доломит-кварц-пирит-галенит-сфалеритовая; кварц-кальцит-сфалерит-галенитовая (периода складкообразования) и поздняя доломит-кварц-флюорит-сфалерит-галенит-бурнонит-халько-пиритовая. В формировании стратиформных свинцово-цинковых руд выделяется три этапа.

Казахстан по запасам свинца и цинка занимает одно из первых мест в мире. В Казахстане выявлено более 100 месторождений свинца и цинка. Балансом учтено 58 месторождений. Из них в 44 месторождениях свинец и цинк учитываются совместно. Большая часть запасов (и добычи) свинца, в меньшей степени цинка сосредоточена в Центральном, цинка и свинца – в Восточном (Рудный Алтай) Казахстане. Третье место по запасам свинца и цинка занимает Южный Казахстан (Каратау). Важное промышленное значение имеют месторождения:

а) рудноалтайского колчеданно-полиметаллическесского типа – *Риддер-Сокольное, Тишинское, Новолениногорское, Зыряновское, Малеевское, Чекмарь, Греховское, Путинцевское, Николаевское, Иртышское, Белоусовское, Новоберезовское, Артемьевское;*

б) атасуского стратиформного свинцово-цинкового и баритово-свинцово-цинкового типа – *Жайрем, Карагайлы, Акжал, Узунжал, Бестобе, Ушкатын, Алайгыр;*

в) миргалимсайского (каратауского) стратиформного свинцово-цинкового типа – *Миргалимсай, Шалкия, Талап;*

г) текелийского колчеданного свинцово-цинкового типа – *Текели, Западное Текели, Яблоновое, Большой Усек* и др.

К новому типу относится карстовое месторождение *Шаймерден* богатых окисленных цинковых руд.

В последние годы в республике в эксплуатации находилось около 30 месторождений свинца и цинка. Достигнутый уровень добычи свинцово-цинковых руд обеспечен в среднем по республике разведанными запасами более чем на 20 лет, что соответствует среднемировому уровню. Проблема заключается в необходимости улучшения качества рудной базы за счет сокращения добычи бедных руд и ускорения освоения богатых месторождений. С этих позиций открытие таких богатых месторождений, как *Малеевское, Артемьевское* на Рудном Алтае, существенно улучшает минерально-сырьевую базу свинцово-цинковой промышленности Казахстана.

12.11.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.

Геохимия и минералогия. Кларк сурьмы 0,00005 %, ртути 0,000003 %. 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 монометалльных 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 монометалльных средних и мелких месторождениях 1,5–2 %; в комплексных крупных – 0,1 %.

Запасы и добыча. Общие запасы сурьмы в зарубежных 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 соответственно 3–5 и 8–10 $/кг.

Ведущие по запасам биметалльные месторождения расположены

в Средней Азии, Сибири, на Дальнем Востоке, а ртутные, кроме того, на Кавказе, в Закавказье, Карпатах. По масштабам запасов (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 <3 Hg).

Типы промышленных месторождений

Промышленные месторождения сурьмы и ртути относятся к трем типам: гидротермальным плутоногенным, гидротермальным вулканогенным и гидротермально-осадочным (стратиформным). Основное промышленное значение в зарубежных 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 плутоногенные (80 % запасов и 63 % добычи) и стратиформные (17 % запасов и 22 % добычи) месторождения.

Гидротермальные плутоногенные 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. Месторождения этого типа известны в Республике Саха (*Сарылах*), Забайкалье (*Ильдикан*), Красноярском крае (*Удерейское, Раздольнинское*), Средней Азии (*Сары-Булак, Тепар*), в Чехии (*Пезинок*), КНР (*Воси*), Турции (*Эз-демир*), Тунисе (*Джабель-Аджа*), ЮАР (*Гравелот*), Австралии (*Блю-Спек*), США (*Нью-Альмаден* – рис. 12.17, *Нью-Идрия*), Боливии (*Чилкобийя*), Мексике (*Техакатес*).

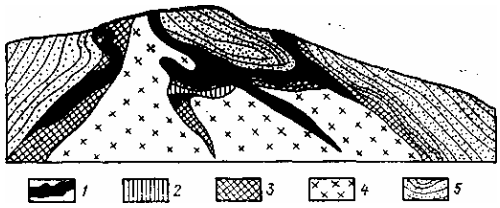


Рис. 12.17. Схематический геологический разрез месторождения Нью-Альмаден*:*
1 – ртутная руда; *2* – глина трения; *3* – брекчия;
4 – серпентиниты; *5* – песчаники и сланцы

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. 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 Румынии (*Бая-Маре, Бая-Сприе*), Турции (*Текгер*), Алжира, США (*Иеллоу-Пайн*), ртутные месторождения Италии (*Монте-Амиата*), Югославии (*Идрия*), Японии (*Итомука*), Новой Зеландии (*Пуи-Пуи*), США, (*Мак-Дермит, Сульфур-Бенк*). В СНГ известны ртутные месторождения на Чукотке (*Пламенное*), Камчатке, в Приамурье, Закарпатье (*Большой Шаян, Боркут*).

Гидротермально-осадочные (стратиформные) месторождения приурочены к карбонатным и терригенным породам, собранным в складки, которые осложнены разрывными дислокациями. К данному типу принадлежат месторождения Средней Азии (сурьмяные – *Кадамджай, Джижикрут, Терек*; ртутные – *Хайдаркан, Чаувай*), Кавказа (ртутное *Сахалинское*), Донбасса (ртутное *Никитовка*). За рубежом сурьмяные месторождения известны в КНР (*Синьхуаньшань*), Болгарии (*Рыбново*), Италии (*Перетта*) и Мексике (*Сан-Хозе*), ртутные – в Испании (*Альмаден*), КНР (*Ваньшань*), Перу.

В районе *месторождения Хайдаркан* оруденение приурочено к брекчиям окварцованных известняков – джаспероидов. Рудные тела имеют пласто-, линзо-, трубо- и гнездообразную форму и локализуются в сводах антиклиналей на контакте массивных известняков с вышележащими глинистыми сланцами, а также вдоль разломов (рис. 12.18). 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.

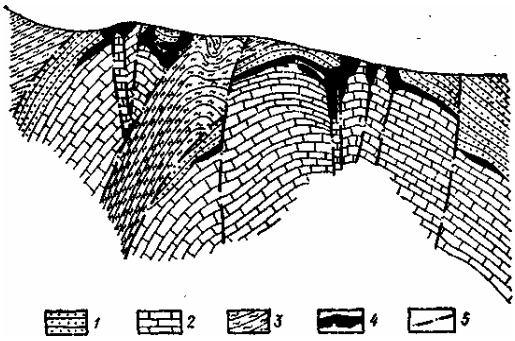


Рис. 12.18. Геологический разрез месторождения Хайдаркан:
1–песчаники;
2–известняки;
3–сланцы; 4–руды;
5–разрывные нарушения

В ***Казахстане*** учтены четыре небольшие ртутные месторождения: *Салкинбель, Кызылшар, Итауз, Северное*, а также ряд мелких проявлений ртутной минерализации. Все они не имеют промышленного значения. Сурьмяными являются месторождения *Торгайское* и *Жаман-Карасу*, расположенные в Центральном Казахстане, которые ранее эксплуатировались. Один сурьмяный объект находится в Южном Казахстане (*Колдар* – сурьма с мышьяком) и два – в Восточном (*Алимбет* и *Сырымбет* – сурьма с золотом).

В качестве сопутствующих компонентов ртуть и сурьма учтены во многих полиметаллических месторождениях (*Ушкатын, Жайрем, Бестобе, Абыз, Карагайлы, Алайгыр, Риддер-Сокольное, Зыряновское, Греховское, Яблоневое* и др.). Сурьмусодержащими являются месторождения *Белоусовское, Иртышское, Текелийское, Гусляковское, Чекмарь, Стрежанское, Красноярское* и др.

Добыча (извлечение) ртути и сурьмы в Казахстане пока базируется на переработке (металлическом переделе) комплексных ртуть-, сурьму- и мышьяксодержащих руд, главным образом, полиметаллических и золоторудных.

12.12. Золото и серебро

Золото

Применение. Основная часть добываемого золота хранится в виде слитков и монет в фондах государств, составляя так называемый «золотой запас», который служит обеспечением и валютой при международных платежах и расчетах. Размер золотого запаса зарубежных стран достиг 40 тыс. т. Остальная часть добываемого золота применяется в изготовлении ювелирных изделий (50 %), в электронной техни-

ке, 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).

Геохимия и минералогия. Хотя кларк золота $4{,}3 \times 10^{-7}$ %, т.е. весьма низок, этот металл широко распространен в природе. Золото присутствует в водах Мирового океана и промышленно извлекается несмотря на весьма низкое содержание. В природе известны 15 золотосодержащих минералов. Основное промышленное значение имеют самородное золото, его сплавы и теллуриды. Самородное золото всегда содержит примеси серебра, меди, железа, висмута, свинца и сурьмы. Качество золота оценивается его пробой – содержанием металла в 1000 единицах массы. Проба высококачественного золота более 900, низкокачественного – менее 700. В СНГ для изделий из золота стандартами установлены пробы 375, 500, 583 (585), 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 пробностью. Кондиционными являются руды коренных месторождений при содержании золота не менее 3 г/т и россыпи с содержанием металла не менее 0,1 г/т (для дражной разработки). По размеру различают дисперсные (до 10 мкм и менее), 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», Россия) и 285 кг («Плита Холтермана», найдена в Австралии в 1872 г.).

Запасы и добыча. Запасы золота в зарубежных 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 более 100 т, россыпные – более 50 т, крупные соответственно – 50–100 и 25– 50 т, средние – 10–50 и 1–25 т, мелкие коренные месторождения – менее 10 т, россыпные – менее 1 т. Уникальным по запасам является *месторождение Витватерсранд* в ЮАР (32,5 тыс. т).

Добыча золота сосредоточена примерно в 50 странах и ежегодно

растет, достигнув 1140 т в 1985 г. При этом на долю ЮАР приходится около 60 % добычи, Канады – 7,5 %, США –6,9 %, Бразилии – 5,5 %, Австралии – 5,0 %. Из других золотодобывающих стран можно назвать Филиппины, Зимбабве, Гану, Колумбию, Мексику (10–20 т в год). В СНГ золото добывается в Якутии, Забайкалье, Узбекистане, на Урале, Кыргызстане и Казахстане.

Цена золота на мировом рынке меняется в пределах 20–32 $/г или 1 тройская унция (31,1035 г) $650–1000.

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 плутоногенные золото-кварцевые месторождения связаны с гранитоидными гранодиоритовыми интрузиями. Рудные тела представлены кварцевыми жилами с видимым золотом и сульфидами, а также пиритизированными и окварцованными зонами во вмещающих породах. С арсенопиритом, пиритом и другими сульфидами связаны тонкодисперсные трудноизвлекаемые вкрапления золота. Месторождения этого типа широко распространены. К ним относятся месторождения *Кочкарское* (Урал), *Мурунтау* (Узбекистан), *Коммунар, рудник «Советский»* (Западная Сибирь), *Болиден* (Швеция), *Колар* (Индия), *Бендиго* (Австралия), *Колана* (Мали), *Намойа* (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.

На ***гидротермальных плутоногенных 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 относятся *Березовское* (Урал), *Степняк* (Казахстан), *Берикульское* и *Саралинское* (Западная Сибирь), *Дарасунское* (Забайкалье), *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 относятся месторождения *Балей, Тасеевское, Белая Гора* (Забайкалье), *Зодское* (Армения), а за рубежом – *Нагиаг* (Румыния), *Крипл-Крик, Комсток* (США), *Эль-Оро* (Мексика), а также месторождения Чили, Перу, Новой Зеландии, Индонезии, Японии, Океании.

Метаморфизованные месторождения представлены золотоносными рудными конгломератами. Уникальным примером является группа месторождений *Витватерсранд* в ЮАР. Подобного типа месторождения имеются также в Австралии, Канаде (*Блайнд-Ривер*), Бразилии.

Рудный район Витватерсранд имеет размеры 350х 200 км^2. 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 *Калгурли* (Австралия), *Ном и речные россыпи* (Канада, Аляска), образованные при выветривании докембрийских пород. В России россыпи промышленного значения находятся в бассейнах рек *Лены, Колымы, Алдана, Бодайбо, Енисея*.

Казахстан по подтвержденным запасам золота входит в первую десятку стран мира, а по добыче – в третью десятку. Балансом учтены запасы по 196 месторождениям (126 коренных, 47 комплексных, 23 россыпных). Доля запасов комплексных золотосодержащих месторождений составляет 35,1 %, россыпных – 0,5 %.

Учтенные запасы собственно золотых месторождений равны 65 %, причем более 40 % заключено в пяти месторождениях – *Васильковское, Бакырчик, Жолымбет, Бестобе* и *Акбакай* (Справочник, 1996).

Разрабатывается около 30 % месторождений, стоящих на балансе. Золото добывается как из собственно золоторудных (61 %), так и из комплексных месторождений (39 %).

Главнейшими из разрабатываемых собственно золоторудных месторождений являются *Васильковское* в районе г. Кокшетау, *Жолымбет, Бестобе, Аксу, Акбеит* в Северном и Центральном; *Юбилейное* в Западном; *Бакырчик, Суздальское* и др. в Восточном; *Акбакай* в Южном Казахстане.

Одним из основных источников золота в Казахстане являются колчеданно-полиметаллические руды месторождений Рудного Алтая: *Риддер-Сокольное, Тишинское, Малеевское, Греховское*. Золото содержится в рудах медно-порфировых месторождений *Бозшаколь, Самарское, Актогай, Айдарлы*; медно-колчеданных *Приорское, Аралчинское, Лиманное*; колчеданно-полиметаллических *Абыз, Майкаин, Мизек, Космурун, Акбастау* и др; скарново-медных *Саякская группа*. Десятки коренных и россыпных месторождений золота находятся в консервации (*Бакырчик, Жетыгара, Жаркулак, Секисовское, Акжал, Балажал, Олимпийское, Кенгир, Миялы, Кулуджунское* и др.) или недоразведаны (*Орловское, Прогресс, Сувенир, Алтынсай, Бактай, Далабай, Гагаринское, Чокпарское, Кепкен, Восток V, Комаровское I, Канчингиз* и др.).

Серебро

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 зарубежных странах составляют 360 тыс. т, общие запасы – 500 тыс. т. Они сосредоточены в США, Мексике, Канаде, 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 СНГ – 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 изменяется в пределах 0,3–0,5 $/г.

Геохимия и минералогия. Среднее содержание серебра в земной коре $7x10^{-6}$ %. 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, прустит Ag_3AsS_3, теллуриды и др.

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 плутоногенных 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 плутоногенным и гидротермальным вулканогенным, из которых последний тип имеет наибольшее промышленное значение. Гидротермальные вулканогенные месторождения Мексики обеспечивают более 20 % добычи серебра в зарубежных 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.

Казахстан *по производству серебра* занимает первое место среди стран СНГ и Азии. В 1990 г. произведено 700 т, в 1994 г. – 550 т серебра. Оно добывается из серебросодержащих месторождений попутно при комплексной переработке медных, колчеданно-полиметаллических, свинцово-цинковых и золото-серебряных руд. Основные запасы серебра в Казахстане сосредоточены: 39,5 % в колчеданно-полиметаллических месторождениях Рудного Алтая (*Малеевское, Орловское, Тишинское* и др.); 28,5 % в свинцово-цинковых месторождениях Центрального и Южного Казахстана (*Жайрем, Миргалимсай* и др); 23,9 % в медных рудах Жезказганского района (*Жезказган, Жаман-Айбат* и др); 5,6 % в медно-порфировых месторождениях Центрального Казахстана (*Актогай, Бозшаколь* и др.); 2,5 % в золото-серебряных месторождениях Центрального и Южного Казахстана (*Таскора, Архарлы* и др.). В последние годы в Соколовском рудном поле Торгая выявлено мелкое собственно серебряное *Павловское* месторождение.

12.13. 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 антикоррозииных покрытий (15 %), ювелирных изделий (10 %).

Запасы и добыча. В зарубежных 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. Месторождения платиновых металлов имеются на Урале, в Сибири (Красноярский край, Республика Саха). Весьма крупными считаются месторождения с запасами (т) свыше 50, крупными – от 5 до 50, средними – от 0,5 до 5, мелкими – менее 0,5.

Добыча платиновых металлов в зарубежных 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.

Геохимия и минералогия. Средние содержания 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 $5 \cdot 10^{-6}$. 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, титаномагнетитовые 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 $м^3$ песка.

Цены этих металлов очень высокие и изменяются для платины в пределах 50–70 $/г, а для осмия – 60–120 тыс. $/г

Типы промышленных месторождений

Промышленными месторождениями платиноидов являются маг-

матические 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. В аллювиальных россыпях содержание платиноидов изменяется от долей грамма до сотен граммов на 1 $м^3$. Длина россыпей достигает нескольких десятков километров, ширина – до 300 м. Платиноносные россыпи известны в СНГ (Урал), Заире, Зимбабве, Эфиопии, Колумбии, США (Аляска).

В Казахстане собственно платиноидных месторождений пока не выявлено. Исключение составляет *Северо-Андасайское* проявление платиноидов, приуроченное к одноименному массиву расслоенных ультрамафитов. Кроме того, известны проявления платины и платиноидов, связанные с медно-никелевыми (*Максут, Когадыр*) и медно-порфировыми месторождениями (*Бозшаколь, Коунрад* и др.).

Промышленное извлечение платиноидов 75–100 кг/год в Казахстане осуществляется при металлургическом переделе руд колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая (Справочник, 1999. Т.2.). Практическую ценность на платиноиды (особенно осмий) представляют медистые песчаники *Жезказгана*, а также некоторые золоторудные месторождения Калбы (*Бакырчик, Большевик*) и Северного Казахстана (*Кварцитовые Горки* и др.), содержащие элементы платиновой группы (Pt, Os, Ir, Pd). Повышенные содержания платины отмечаются в колчеданно-свинцово-цинковых месторождениях Жонгарии (*Текели, Яблоневое, Коксу*). Перспективны на платиноиды коры выветривания по ультрамафитам, которые широко развиты в Мугоджарах, Северном Казахстане, Чарской зоне (*Масьяновское* месторождение).

Платиноносными являются титано-магнетитовые руды *Велиховского* месторождения (Мугоджары). Платиноиды содержат хромитовые месторождения *Кемпирсайского района*. Для ряда месторождений подсчитаны запасы платиноидов и поставлены на баланс. Прогнозные ресурсы их оцениваются в 300 т (Справочник, 1999. Т.2.).

Проблема заключается в разработке технологий рентабельного извлечения платиноидов при металлургическом переделе.

12.14. Уран

Общие сведения

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

Запасы и добыча. 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, к мелким – менее 1. В зарубежных 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: США, Канада, ЮАР и др.

Цена (2007 г.) 1 кг U_3O_8 в сырье – 240 дол.

Геохимия и минералогия. Среднее содержание урана в земной коре $2{,}5 \cdot 10^{-4}$ %. 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. Минералы урана легко растворяются в разбавленных кислотах и щелочах.

Типы руд и кондиции. Основное промышленное значение имеют оксидные руды, меньшее – руды, состоящие из ванадатов (карнотит, тюямунит), фосфатов (торбернит, отенит) и арсенатов (цейнерит) урана. Минимальное содержание U_3O_5 в рядовых месторождениях 0,1 %, а в месторождениях с крупными запасами – 0,05 % и меньше.

Типы промышленных месторождений

Главную роль играют гидротермальные плутоногенные, гидротермальные вулканогенные, альбититовые, метаморфизованные, инфильтрационные, выветриваний и осадочные месторождения.

Гидротермальные плутоногенные уранинит-сульфидные месторождения представлены жилами значительной протяженности и мощностью 1,5–2 м, залегающими в эффузивно-осадочных породах и связанными с интрузиями гранитоидного состава. Примерами месторождений этого типа являются *Мэрисвейл* (США) и *Лимузен* (Франция).

Уранинит-арсенидные месторождения, принадлежащие к этому же классу (гидротермальные плутоногенные) отличаются сложным составом руд, наличием арсенидов никеля и кобальта, минералов серебра. Рудные тела – жилы и жильные зоны – развиты на значительной площади и на большую глубину среди эффузивных, осадочных и интрузивных пород. К данному типу принадлежат *месторождения Рудных гор* в Чехии и Германии и *Порт Радий* в Канаде.

Гидротермальные вулканогенные месторождения связаны с комплексами вулканических пород. Рудные тела имеют форму жил, гнезд, линз, линейных штокверков, иногда послойных залежей, размещение которых контролируется зонами разрывных нарушений. По составу руд выделяются уран-титановые, уранинит-галенитовые, уранинит-молибденитовые, уранинит-флюоритовые месторождения. Крупные месторождения известны в Австралии, 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. Инфильтрационные месторождения имеют важное промышленное значение и широко распространены. Они известны в Канаде (*Раббит-Лейк*), США (*плато Колорадо*), Австралии (*Рейнджер*), а также в Германии, Франции, Великобритании, Италии, Австрии, Югославии, Венгрии, Румынии, Турции, Пакистане, Индии, Японии.

Осадочные урановые месторождения разделяются на морские, залегающие в карбонатных породах, углисто-кремнистых сланцах, фосфоритах, и континентальные, локализующиеся в торфяниках, лигнитах, бурых углях, конгломератах и песчаниках. Этим месторожде-

ниям присущи крупные запасы сравнительно бедных руд. Осадочные урановые месторождения находятся в Канаде (*Ките, Гэз-Хилс*), США (*Амброзия-Лейк*), Испания (*Фе*), Алжире, Тунисе, Марокко, Заире, Замбии, Аргентине, Австралии (*Олимпик-Дам*).

Минерально-сырьевая база ***Казахстана*** составляет около 25% мировых запасов урана. Основа урановой базы – экзогенные месторождения, а среди них пластово-инфильтрационные гидрогенные. Крупнейшими являются Шу-Сарысуская и Сырдарьинская урановосные провинции в Южном Казахстане (рис. 12.19), особенно первая. Здесь сосредоточено более 20 урановых месторождений, в том числе наиболее крупные *Инкай, Буденновское, Мынкудук, Уанас, Торткудук, Моинкум, Канжуган,* и др. Первые три месторождения относятся к уникальным. В Сырдарьинской провинции уникальными являются *Харасан*, крупными *Северный* и *Южный Карамурун, Ирколь, Заречное*. Крупные органогенно-фосфатные урановые месторождения (*Меловое, Томак, Тайбагар, Тасмурун*) расположены на полуострове Мангистау (Мангистауская-Прикаспийская урановорудная провинция).

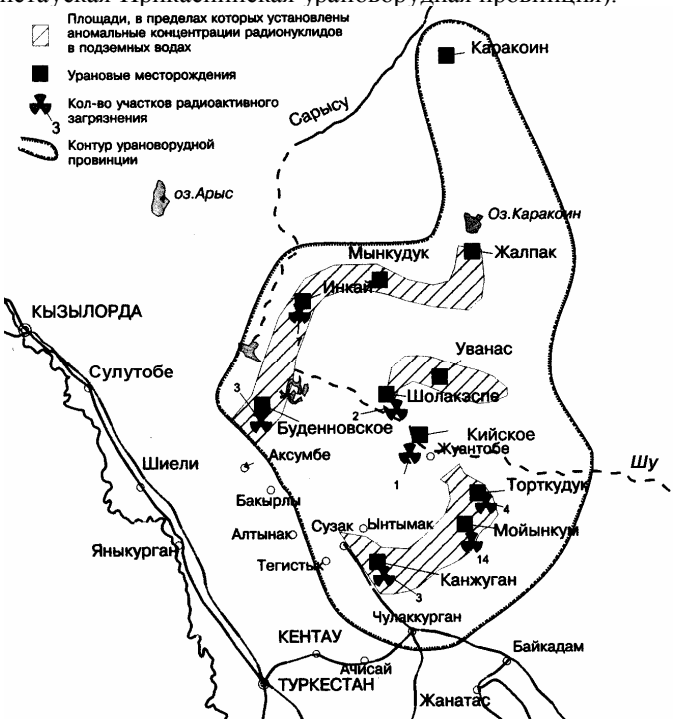


Рис 12.19. Карта Шу-Сарысуской урановосной провинции (Волковгеология, 2002)

Общие ресурсы урана в Казахстане оцениваются в 1,5 млн. т. Из них разведанные запасы составляют 470 тыс.т, что выводит республику на одно из первых мест в мире по этому показателю (Даукеев, 2000).

В последние годы доля когда-то наиболее важных эндогенных месторождений существенно снизилась в пользу пластово-инфильтрационных (до 75 % достоверных запасов и ресурсов категории P_1), пригодных для отработки наиболее прогрессивным и рентабельным способом подземного выщелачивания. В настоящее время пластово-инфильтрационные гидрогенные месторождения являются основным источником добычи урана в Казахстане. Совместно с ураном из этих месторождений могут извлекаться способом подземного выщелачивания рений, ванадий, селен, редкие земли и другие эквиваленты.

Полезными компонентами органогенно-фосфорно-урановых руд являются скандий, редкие земли и фосфор, а урано-угольных – молибден, рений, кобальт, серебро, германий, селен.

Эндогенные месторождения находятся в основном в Северо-Казахстанской ураново-рудной провинции: уникальное *Косачиное*, крупные *Грачевское, Заозерное, Маныбай* и др., в Шу-Или-Бетпак-Далинской – *Ботабурум, Кызылсай, Жидели* и др. (почти отработаны).

12.15. Литий

Общие сведения

Применение. Литий благодаря низкой плотности (0,53 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 зарубежных 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 зарубежных странах 6,5 тыс. т (в пересчете на Li_2O).

Цена гидроксида лития в 2000 г. составляла 4,3 $/кг, карбоната лития – 3,4 $/кг.

Геохимия и минералогия. Кларк лития $2{,}9 \times 10^3$ %. Он содержится в 28 минералах. К промышленным относятся сподумен $LiAlSi_2O_6$

(до 8 % Li_2O) и лепидолит (силикат, 2–6 % LiO_2). 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_20 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; Салар-де-Атакама* в Чили); 3) подземные рассолы (*Клейтон-Велли* в США); 4) подземные воды нефтяных и газовых месторождений.

В Казахстане балансовые запасы лития учтены по четырем олово-танталовым месторождениям: *Юбилейное, Ахметкино, Бакенное, Верхнебаймурзинское*. В рудах этих месторождений содержатся рубидий и цезий. В авторских вариантах они подсчитаны в месторождениях *Таргынское* и *Белогорское*. Основным промышленно-генетическим типом редкощелочных элементов являются гранитные пегматиты. Литиевое оруденение, в меньшей степени рубидиевое и цезиевое связаны в пегматитах со сподуменом, иногда в ассоциации с лепидолитом и поллуцитом. До последнего времени сподуменовый концентрат из руд упомянутых месторождений не извлекался.

Потенциальным источником извлечения лития, рубидия и цезия могут быть высокоминерализованные пластовые воды (рассолы) некоторых нефтегазовых месторождений (Урихтау, Амангельды, Алибекмола, Тортай, Таган Южный, Карачаганак и др.) Прикаспия, Мангистау и Южного Торгая, в которых отмечается высокая концентрация этих элементов, иногда достигающая промышленных значений.

Повышенные концентрации лития, рубидия и цезия отмечаются в

марганцевых рудах (Жезды, Промежуточное, Тур, Богач, Ушкатын III, Западный Каражал). На первых двух месторождениях оценены запасы этих элементов. По примеру других стран потенциальным источником цезия могут считаться экзоконтактовые метасоматиты (с цезиевым биотитом) и вулканические стекла, широко развитые в Южном и Центральном Казахстане. Значительные запасы рубидия в калийных солях Прикаспия.

12.16. Бериллий

Общие сведения

Применение. Благодаря низкой плотности, значительной твердости, высокой упругости и теплоемкости, самого низкого сечения захвата тепловых нейтронов бериллий используется в атомной технике (в качестве источника нейтронов, их замедлителя и отражателя в реакторах), в самолето- и ракетостроении (как легкий и прочный материал), в производстве неискрящихся сплавов (в промышленности взрывчатых веществ) для покрытий различных изделий (бериллизация), в гироскопических устройствах систем наведения и ориентации в самолетах и ракетах, для производства высокоэнергетических ракетных топлив. Некоторые бериллиевые минералы являются драгоценными камнями I класса.

Запасы и добыча. Запасы зарубежных стран составляют около 1 млн т BeO. Более половины их приходится на бедные руды (0,04–0,06 % BeO). Уникальное месторождение Томас-Рейндж (США) имеет запасы BeO 200 тыс. т. Крупные месторождения обладают запасами 100–40 тыс. т. Богатые руды содержат 0,5 % BeO, бедные 0,04–0,1 %. Мировая (без СНГ) добыча бериллиевых концентратов (10 % BeO) достигает 100 тыс. т, производство бериллия – около 0,8 тыс. т.

Геохимия и минералогия. Кларк бериллия $3{,}8 \times 10^{-4}$ %. Известно более 50 минералов бериллия – силикаты (50 %), фосфаты (25 %), оксиды и бораты. Промышленное значение имеют берилл $Be_3Al_2[Si_6O_{18}]$ (10–12 % BeO), фенакит $Be_2[SiO_4]$ (40–44 %), бертрандит $Be_4[Si_2O_7](OH)_2$ (40–42 %), хризоберилл $Al_2[BeO_4]$ (18–20 %).

Типы руд и кондиции. Основную роль играют берилловые (75 % запасов) и фенакит-бертрандитовые руды. Кондиционное содержание BeO в коренных рудах – 0,02 %, в комплексных и коре выветривания – 0,01 %.

Цена BeO в концентрате (2000 г.) $11 тыс.$/т, металлического бериллия – около 500 $/кг.

Типы промышленных месторождений

Все месторождения бериллия относятся к эндогенным. Промышленное значение имеют пегматитовые, гидротермальные плутоногенные и вулканогенные, грейзеновые. Первое место (более 75 %) по запасам бериллия зарубежных 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 (%): гидротермальные – 70, пегматитовые – 17, грейзеновые – 13. Метасоматиты пока не разрабатываются.

Гранитные редкометальные пегматиты различных по вещественному составу типов до сих пор являются важным источником бериллиевого сырья. Берилл извлекается обычно попутно при разработке пегматитов на мусковит, литий, цезий и тантал. Ведущая роль принадлежит берилл-мусковитовым и берилл-сподуменлепидолитовым месторождениям. Берилл представлен крупнокристаллической разновидностью, пригодной для ручной разборки. В пегматитах литиевого типа берилл обычно мелкозернистый и развит на участках интенсивного метасоматического замещения. Крупные месторождения находятся в Индии, Бразилии, США, КНР, Мозамбике.

Гидротермальные плутоногенные месторождения связаны с гипабиссальными мелкими интрузиями граносиенитов, кварцевых сиенитов и щелочных гранитов. Рудные тела приурочены к дорудным дайкам. Руды сложены флюоритом с фенакитом и бертрандитом 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 – бертрандит 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.

В ***Казахстане*** разведаны два бериллиевых месторождения – *Нураталды* (берилл) в Центральном Казахстане и *Дегелен* (гельвин, хризоберилл) в Чингизе. В небольших объектах запасы бериллия учтены в

качестве попутного компонента в молибдено-вольфрамовых и танталовых месторождениях. Среди первых можно отметить месторождения *Акшатау, Коунрад Северный, Караоба* и др. Вторые (танталовые) представлены месторождениями редкометалльных гранитных пегматитов, содержащих бериллий (Калба): *Ахметкино, Медведка, Калайы-Тапкан, Белогорское, Бакенное, Верхнебаймурзинское, Юбилейное*, а также месторождения *Кожемкульское (Степановский участок), Жилке* и др.

В последние годы в приграничной зоне Горного Алтая выявлен новый перспективный тип редкометалльного оруденения (тантал, ниобий, литий и др.) с попутным бериллием, приуроченного к гранит-порфирам, с околорудными зонами альбитизации, грейзенизации и метасоматоза. Масштабы оруденения значительные.

12.17. Тантал и ниобий

Общие сведения

Применение. Тантал и ниобий близки по свойствам. Они широко используются для производства жаропрочных и нержавеющих сталей, сверхтвердых и сверхтугоплавких сплавов, применяемых в ракето-, авиастроении, атомной энергетике, радиоэлектронике, химическом машиностроении. Значительная часть тантала используется для производства электролитических конденсаторов для ракет, космических кораблей.

Запасы и добыча. Мировые запасы (без СНГ) оцениваются в 15–20 млн т Nb_2O_5 и 0,15 млн т Ta_2O_5. Крупные месторождения имеют запасы более 500 тыс. т Nb_2O_5 и более 15 тыс. т Ta_2O_5, средние соответственно 500–100 и 15–2 тыс. т, мелкие – менее 100 и менее 2 тыс. т. Богатые месторождения содержат более 0,4 % Nb_2O_5 и 0,025 % Ta_2O_5, бедные соответственно 0,1–0,15 и 0,012–0,015 %. Крупные и богатые месторождения ниобия находятся в Бразилии (*Борейро-де-Араша*), тантала – в Канаде (*Берник-Лейк*). Мировое производство (без СНГ) 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 Nb_2O_5 изменялась (2000 г.) от 7,16 $/кг в пирохлоровом концентрате (60 % Nb_2O_5) до 9,4 $/кг в колумбитовом, а цена Ta_2O_5 в танталитовом концентрате составляет 60 $/кг.

Геохимия и минералогия. Кларк Nb $2\cdot10^{-3}$ %, Ta $2{,}5\cdot10^{-4}$ %. 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 $(Na,Ca)_2(Nb,Ta)_2O_6(OH,F)$ (30–70 % и лопарит $(Nb,C1,Ca)$ $(Ti,Nb,Ta)O_8$ (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/Mb_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 (*Ловозеро*). 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.

Пирохлор встречается в карбонатитовых месторождениях с примесью амфиболов, апатита, магнетита. В рудах ниобий существенно преобладает над танталом. Месторождения этого типа известны в СНГ, Канаде, Бразилии.

Пегматитовые месторождения часто содержат тантал и ниобий, но главную роль играют пегматиты литиевого типа. Руды состоят из кварца, полевых шпатов и мусковита; главные рудные минералы – танталит и колумбит; извлекаются также сподумен, лепидолит, касситерит, берилл. Крупные месторождения этого типа имеются в Канаде, Бразилии, КНР, Зимбабве, США.

Альбититовые месторождения связаны с верхними частями небольших гранитных куполов, приурочены к зонам эндоконтакта и тектоническим нарушениям. В состав руд входят колумбит-танталит, микроклин, кварц, альбит, топаз, лепидолит, касситерит и вольфрамит. Подобные месторождения тантала и ниобия известны в Нигерии, 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. Танталониобаты встречаются в них обычно вместе с касситеритом и вольфрамитом. Россыпи этого типа разрабатываются в Заире, Нигерии, Бразилии.

В ***Казахстане*** в настоящее время промышленная сырьевая база *по танталу* представлена четырьмя месторождениями: *Бакенное, Белогорское, Юбилейное* и *Верхнебаймурзинское*. Раведанным объектом является месторождение Ахметкино. Все месторождения находятся в Калбе. Балансом учтено 12 месторождений, из них 8 с балансовыми запасами: *Белогорское, Бакенное, Юбилейное, Кварцевое, Караобинское, Ахметкино, Огневское, Обуховское*. Наиболее обеспеченными раведанными запасами является Белогорское месторождение, обеспеченность остальных объектов подтвержденными запасами составляет от 5 до 15 лет. Сырьевая база по танталу неудовлетворительная.

По ниобию учтенных запасов по республике нет. Известны следующие собственно ниобиевые месторождения и проявления: *Верхнеэспинское* (Чингиз-Тарбагатай), *Лосевское* (Кокшетауский район), *Верхнеиргизское, Борсыксай* (Мугоджары) и ряд более мелких проявлений (Губайдулин, Лаумулин, 1996). В связи с небольшими запасами и низкими содержаниями ниобия все известные проявления не имеют пока промышленного значения. В настоящее время в Казахстане ниобий извлекается попутно при переработке руд редкометалльных гранитных пегматитов Калбы.

Значительные ресурсы тантала и ниобия находятся в техногенных месторождениях – хвостохранилищах Белогорского комбината, где скопилось более 10 млн т хвостовых отходов, содержащих тантал, олово, бериллий, литий, цезий и др.

12.18. Редкоземельные элементы

Общие сведения

Применение. К редкоземельным элементам (TR) относятся лантан La, церий Ce, празеодим Pr, неодим Nd, прометий Pm, самарий Sm, европий Eu, гадолиний Gd, тербий Tb, диспрозий Dy, гольмий Ho, эрбий Er, тулий Tm, иттербий Yb, лютеций Lu и иттрий Y. Редкие земли используются в металлургии как легирующие и модифицирующие добавки, повышающие механические свойства, тепло- и жаропрочность сплавов черных и цветных металлов. Они применяются как катализаторы при крекинге нефти, в производстве кинескопов цветных телевизоров, люминофоров, сверхмощных магнитных сплавов, лазеров и мазеров, регулирующих стержней (Gd, Sm, Eu) в атомных реакторах,

как источники радиоактивного излучения.

Запасы и добыча. Мировые запасы редкоземельных элементов (без СНГ) оцениваются в 45 млн т. Крупными считаются месторождения с запасами более 500 тыс. т TR_2O_3, средними – 500–100 тыс. т, мелкими – менее 100 тыс. т. Богатые руды содержат более 1–2 % TR_2O_3, бедные – менее 0,3 %. Производство редкоземельных концентратов (60 % TR_2O_3) в зарубежных странах составляет 50 тыс. т, в том числе около 60 % в США. Редкие земли получают как из собственно редкоземельных руд (бастнезитовые и моноцитовые), так и попутно при переработке тантало-ниобиевых и урановых руд.

Цена бастнезитового концентрата (2000 г.) 660 $/т, монацитового – 350 $/т.

Геохимия и минералогия. Среднее суммарное содержание всей группы редких земель в земной коре около 0,01 %, содержание отдельных элементов варьирует от $2\cdot10^{-5}$ (тулий) до $4{,}6\cdot10^{-3}$ (церий). Около 200 минералов включают редкие земли, к промышленным же относятся монацит $(Ce,Th)PO_4$ (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 %), фергюсонит $Y(NbO_4)$ (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 грано-сиенитов и приурочены к тектоническим нарушениям. Рудные тела имеют форму линз и жил. Состав руд сложный. Жильную массу образуют карбонаты кальция, магния и железа, магнетит, барит, флюорит, кварц; рудные минералы представлены бастнезитом, паризитом, монацитом. Такого типа месторождения известны в США (*Маунтин-Пасс*), КНР (*Баян-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.

*В **Казахстане*** источниками редких земель являются в основном ванадиевые, фосфорные, урановые и титан-циркониевые месторождения. В этих месторождениях редкие земли содержатся в виде попутных компонентов, концентрация которых приближается к промышленному значению. Кроме того, известно около 10 месторождений и проявлений с явно повышенными концентрациями редких земель в качестве ведущего компонента: *Акбулакское, Талайрыкское, Северо-Кутюхинское, Кундыбайское, Надеждинское, Молодежное месторождения* в Северном Казахстане; *Аккенсе* в Центральном; *Жамчинское* в Южном; Приозерное в Западном. Крупным редкоземельным объектом является редкометалльное (ниобий-цирконий-редкие земли) месторождение *Верхнее Эспе* в Восточном Казахстане. Среди молибден-вольфрамовых месторождений (Центральный Казахстан) повышенными содержаниями редкоземельных элементов выделяются *Верхнее Кайракты, Жанет, Южный Жаур* и др.

Крупными месторождениями с редкоземельным оруденением являются ванадиевые – *Баласауыскандык, Корамсак, Жабаглы*; фосфоритовые – *Аксай, Шолактау, Коксу, Кокджон, Жанатас, Верхний Ран* и др. (Каратау); органогенно-фосфатно-урановые – *Меловое, Тайбагар, Томак, Тасмурын* (Мангистау); пластово-инфильтрационные урановые селеносодержащие – *Инкай, Мынкудук, Канжуган* и др. (Шу-Сарысуйская и Сырьдарьинская впадины); фосфорно-урановые – *Заозерное, Тастыкольское* и др.; урано-угольные – *Кольжат, Нижнеилийское* (Илийская впадина); угольные – *Юбилейное (Каражира); Алакольское, Ленгерское, Шубарколь, Майкюбенский* и *Жиланшикский бассейны*; титан-циркониевые россыпи – *Обуховская, Заячья, Решающая, Агиспе* и др.

Практический интерес представляют редкоземельные коры выветривания в Северном Казахстане, Торгае, Улытау (месторождение *Кундыбай* и др.).

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите области применения железа.
2. Какие минералы и типы руд железа имеют промышленное значение?
3. Каковы основные показатели кондиций по типам руд железа?
4. Дайте оценку горно-геологических условий Сарбайского месторождения.
5. Дайте оценку горно-геологических условий Качарского месторождения.
6. В каких областях промышленности используется марганец?

7. Как распределены по странам запасы и добыча марганцевых руд?

8. Какие минералы и типы руд и месторождений марганца имеют промышленное значение?

9. Расскажите об особенностях морфологии, условий залегания и вещественного состава осадочных марганцевых месторождений. Приведите примеры.

10. Перечислите основных потребителей хромитов.

11. В каких странах сосредоточены основные запасы и добыча хромитовых руд?

12. Каковы показатели кондиций для хромитовых руд?

13. Дайте характеристику морфологии, условий залегания и вещественного состава магматических хромитовых месторождений. Приведите примеры.

14. Дайте оценку горно-геологических условий месторождений Кемпирсайского массива.

15. В каких областях промышленности применяются никель и кобальт?

16. Как распределены по странам запасы и добыча никелевых и кобальтовых руд?

17. Назовите промышленные минералы и типы руд никеля и кобальта.

18. Дайте характеристику геологического строения и вещественного состава ликвационных магматических месторождений сульфидных руд. Приведите примеры.

19. Расскажите об особенностях морфологии, условий залегания и вещественного состава кобальт-никелевых остаточных месторождений выветривания. Приведите примеры.

20. Перечислите области применения вольфрама и молибдена.

21. В каких странах сосредоточены основные запасы и добыча этих металлов?

22. Назовите основные черты геохимии и минералогии вольфрама и молибдена, промышленные типы руд и показатели кондиций.

23. Какие типы месторождений играют ведущую роль в добыче и запасах вольфрама и молибдена?

24. Дайте характеристику морфологии, условий залегания и вещественного состава гидротермальных месторождений вольфрама и молибдена. Приведите примеры.

25. Расскажите об особенностях геологического строения и вещественного состава скарновых вольфрам-молибденовых месторождений. Приведите примеры.

26. Назовите свойства и области применения алюминия.

27. Какие минералы и типы руд имеют промышленное значение для алюминия?

28. Назовите основные промышленные типы месторождений алюминия.

29. Дайте сравнительную характеристику горно-геологических условий месторождений СУБРа и Амангельдынской группы.

30. Какие свойства меди определяют ее широкое использование в промышленности?

31. Как распределяются по странам мировые запасы и добыча меди?

32. Назовите основные особенности геохимии и минералогии меди. Какие показатели кондиций установлены для различных типов медных руд?

33. Какие типы месторождений имеют промышленное значение?

34. Какие особенности морфологии, условий залегания, вещественного состава, гидрогеологии и инженерной геологии присущи Жезказганскому месторождению?

35. В каких областях промышленности применяется олово?

36. Назовите промышленные минералы и типы руд олова.

37. Перечислите области применения свинца и цинка.

38. Расскажите об особенностях геохимии и минералогии свинца и цинка. Какие показатели кондиций установлены для различных типов руд?

39. Дайте сравнительную характеристику горно-геологических условий Лениногорского месторождения.

40. Какие отрасли промышленности используют сурьму и ртуть?

41. Назовите промышленные минералы и типы руд сурьмы и ртути.

42. Дайте характеристику горно-геологических условий Хайдарканско-го месторождения.

43. Дайте характеристику качественных показателей Никитовского месторождения.

44. Дайте характеристику минерально-сырьевой базы золота.

45. Что представляют собой метаморфизованные месторождения золотоносных рудных конгломератов?

46. Приведите данные о запасах и добыче урана.

47. Какие особенности геохимии и минералогии характерны для урана?

48. Расскажите об особенностях геологического строения и вещественного состава различных типов месторождений урана.

49. Дайте характеристику свойств и областей применения редких и рассеянных элементов.

50. Приведите данные о запасах и добыче этих элементов.

51. Какие минералы и типы месторождений редких и рассеянных элементов имеют промышленное значение?

52. Дайте характеристику свойств и областей применения редкоземельных элементов.

13. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

13.1. Классификация неметаллических полезных ископаемых

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.

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.

В настоящем учебнике принята классификация, наиболее широко распространенная в учебной и научно-технической литературе. Разделение неметаллических полезных ископаемых на три группы основано в ней на ведущих полезных свойствах и главных направлениях промышленного применения:

1) *индустриальное сырье*: драгоценные, поделочные и технические камни; пьезооптическое и электротехническое сырье; тепло- и звукоизоляционные, кислото- и щелочеупорные, а также огнеупорные материалы и добавочное сырье для металлургии; природные сорбенты.

2) *химическое и агрономическое сырье*: минеральные соли; фосфатное сырье; серное и борное сырье.

3) *минеральное сырье для промышленности строительных материалов*: для производства заполнителей легких бетонов и теплоизоляционных материалов; строительный и облицовочный камень; сырье для получения вязущих материалов; строительный песок и песчано-

гравийные материалы; керамическое сырье; стекольное сырье; породы для каменного литья; минеральные пигменты.

13.2. 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.

Камнеоамоцветное 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, изумруд, рубин, сапфир (I порядок); александрит, оранжевый, фиолетовый и зеленый сапфир, благородный черный опал, благородный жадеит (II порядок); демантоид, шпинель, благородный и огненный опал, аквамарин, топаз, родонит, турмалин (III порядок); хризолит, циркон, желтый, зеленый и розовый берилл, кунцит, бирюза, аметист, 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, брекчии.

Качество драгоценных и поделочных камней регламентируется стандартами и техническими условиями. Главными показателями качества являются размер бездефектных частей, прозрачность, тон и равномерность распределения окраски, количество и размер посторон-

них 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 $/кар., III порядка – 50–300 $/кар и IV порядка – 5–40 $/кар. Стоимость ювелирно-поделочных камней I порядка варьирует от 30–150 до 1000 $/кг, II порядка от 5 до 15 $/кг, а поделочных камней не превышает 1,5 $/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 5х6,5х10 см. При его обработке были получены два крупных («Звезда Африки» 530,2 кар. и «Куллинан–II» 317,4 кар.) и 103 мелких бриллианта общей массой около 1064 кар. Этот выход бриллиантов из алмазов (34,25 %) считается достаточно высоким, поскольку потери при обработке алмазов достигают 50%. России принадлежат крупные и ценные исторические бриллианты «Орлов» (194,8 кар.), «Шах» (88,7 кар.) и крупные ювелирные алмазаы «Звезда Якутии» (232 кар.), «Мария» (105,8 кар.) и «Валентина Терешкова» (51,66 кар.).

К техническим камням принадлежат минералы с высокой твердостью и абразивностью (алмаз, корунд, гранат), механической прочностью и вязкостью (агат, нефрит), пьезоэлектрическими свойствами (кварц, турмалин), способные 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. *Балла-*

сами 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* – алмазная мелочь и мелкие наиболее низкосортные непрозрачные кристаллы неправильной формы.

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.

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 пиропа в кимберлитовых трубках, циркона, сапфира и хризолита в щелочных и основных эффузивных породах, а также альмандина в кислых и средних эффузивах.

Кимберлитовые тела (трубки, реже дайки и силлы) развиты в пределах Южно-Африканской и Сибирской и других платформ. Их размещение 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 2525х1068 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.

Трубка «Мир» в Якутской алмазоносной провинции (Республика Саха) имеет овальную форму в плане и воронкообразную – в разрезе. Она прорывает горизонтально залегающие карбонатные породы (до-

ломиты, 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 (рис. 13.1). Пегматиты являются также источником коллекционного сырья. Пегматитовые месторождения камнесамоцветного сырья известны на Украине, Урале, в Казахстане, Афганистане. США, на Мадагаскаре.

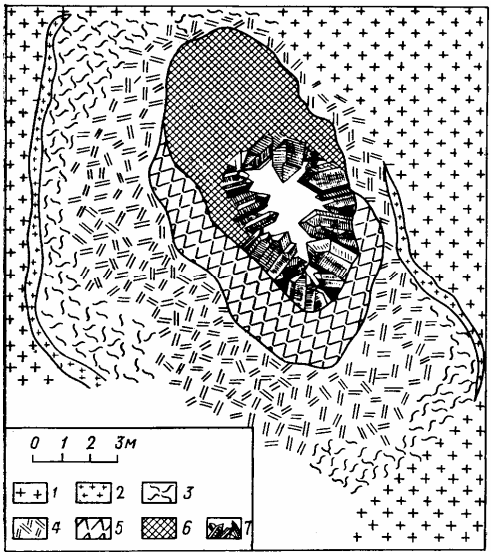


Рис. 13.1. Разрез мориононосного пегматита (по *Е.Я. Киевленко*): 1 – гранит; 2 – аплитовая оторочка; 3 – графический пегматит; 4 – пегматоидная зона; 5 – микроклин; 6 – кварцевое ядро; 7 – полость с кристаллами мориона

Гидротермальные месторождения служат источником аквамарина, топаза, горного хрусталя и его окрашенных разновидностей – цитрина, мориона, аметиста (*Урал*). Крупные месторождения агата этого типа расположены 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, ЮАР, Австралия – на контакте гранитоидов и

ультраосновных пород), лазурита (Забайкалье, Памир – на контакте карбонатных пород с дайками кислых пород и гнейсами), благородной шпинели и рубина (Бирма, Таиланд, Шри-Ланка, Афганистан – магнезиальные скарны), нефрита и жадеита (Казахстан, Урал – на контакте ультраосновных пород с кислыми и средними), ювелирного гроссуляра (Кения, Танзания – известковые скарны).

Метаморфогенные месторождения ювелирно-поделочных камней формируются на различных стадиях регионального и контактового метаморфизма горных пород. Крупные месторождения яшмы известны на Среднем и Южном Урале (Оренбургская область), Алтае и Забайкалье, а также в Австралии и США. Родонитовые месторождения развиты на Урале (*Малоседельниковское* и *Кургановское*) и в Средней Азии, Австралии, Испании, Великобритании, США, Мексике, на Мадагаскаре.

При средне- и высокотемпературном метаморфизме формируются слюдистые и кристаллические сланцы, гнейсы, которые содержат ювелирные разновидности альмандина (*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, аметиста, 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, Ниж-*

не-Тагильское), Заира и Замбии. Высококачественное сырье связано с кислыми эффузивами, к которым приурочена минерализация медно-порфирового типа (*Бирюзакан* в СНГ, Иран, США). Месторождения бирюзы могут быть приурочены к осадочным фосфоритоносным породам (Кызылкумы в Ср. Азии).

Осадочные месторождения являются важным источником камнесамоцветного сырья. В настоящее время из россыпей добывается большая часть алмазов (Африка, Индия), практически весь рубин, сапфир, циркон и благородная шпинель (Таиланд, Австралия, Шри-Ланка), а также янтарь (Прибалтика). Они играют значительную роль в добыче топаза, изумруда, горного хрусталя (Бразилия, Мадагаскар), агата (Бразилия, Уругвай, Индия), нефрита (Канада, СНГ) и почти всех других камней.

Аллювиальные россыпи по возрасту разделяются на древние и современные. Современные аллювиальные россыпи подразделяют на долинные, террасовые, пойменные и русловые (рис. 13.2). Аллювиальные россыпи известны в России (бассейн р. Вилюй), ЮАР, Намибии, Гане, Анголе, Сьерра-Леоне, Индии, КНР, Бразилии, Венесуэле, Гайане, Австралии.

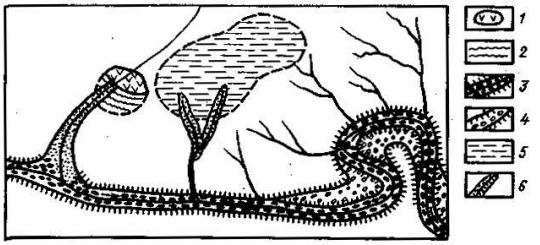


Рис. 13.2. Схема расположения алмазоносных россыпей различных типов в плане (по *А.П. Буровуу): 1*–5 – россыпи: *1* – элювиальные, *2* – делювиальные, *3–4* – аллювиальные *(3* – долинные, *4* – террасовые), 5 – пролювиальные, *6* – ложковые

Прибрежно-морские россыпи распространены на побережье Намибии.

Казахстан располагает крупными ресурсами камнесамоцветного сырья и занимает по этому показателю одно из ведущих мест. На территории республики выявлены десятки месторождений драгоценных и полудрагоценных самоцветов и цветных поделочных камней. Наиболее известными являются месторождения жадеита (*Итмурунды*), хризопраза (*Сарыкулболды, Пстан*), диоптаза (*Алтынтобе*), бирюзы (*Ак-*

сумбе, Жиланды), изумруда (*Дельбегетей, Изумрудное*), малахита (*Шакпак*), мохового агата (*Пстан, Шибынды, Шарлы*), гематита-кровавика (*Кишкенесор*), горного хрусталя (*Друзовое, Актасское, Акжайляу, Бескемпир* и др.), яшмы (*Риддерское, Анастасьевское, Аймакское, Жумырсай* и др.), граната (*Кулетское, Гранатовое*), благородного халцедона (*Каратауская группа*), родусита (*Кумола, Ушбулак*), амазонита и офикальцита (*Майкольское*), благородного опала (*Вознесенское*), ленточных и слоистых агатов (*Кызылтуганское, Южно-Кетменское, Альжановское* и др.), агальматолита (*Майтобинское, Аркалыкское, Ашутастинское, Кербулак* и др.). Установлены многочисленные проявления других самоцветов и поделочных камней: берилла, топаза, аметиста, цитрина, цветного турмалина, цветного мрамора, обсидиана, кальцифира, родонита, серпентина, дендролита (окаменелое дерево) и др., которые в большинстве случаев не изучены. Особо следует отметить многочисленные находки на территории Северного и Южного Казахстана мелких кристаллов ювелирных алмазов, не получивших пока должной оценки. Геологические предпосылки позволяют высоко оценивать перспективы потенциально алмазоносных районов Казахстана на выявление месторождений ювелирных алмазов. Камнесамоцветное сырье – забытый и практически не изученный вид полезного ископаемого в Казахстане.

Технические алмазы. В Северном Казахстане (Кокшетауский район) разведано уникальное по запасам месторождение технических алмазов – *Кумдыколь*. Концентрация микроалмазов месторождения отличается пространственной неоднородностью и достигает ураганных содержаний. Месторождение подготовлено к промышленному освоению. В районе выявлены пять новых алмазоносных зон кумдыкольского типа (*Кенеткольская, Восточно- и Западно-Карлыккольская, Ащикольская* и *Барчинская*).

Абразивные камни – корунд, микрокварциты, гранаты. В Казахстане находится уникальное по запасам месторождение корунда Семизбугы. За 50 лет (1926–1977 гг.) было добыто около 150 тыс.т высококачественной корундовой руды. Месторождение находится на консервации. Остаточные запасы корунда составляют 11,5 тыс. т. Имеются резервы получения корунда из делювиальной россыпи (около 15 тыс. т).

В Моинтинском районе Центрального Казахстана расположены два предварительно оцененных крупных месторождения – *Шешенкора* (60 тыс. т) и *Жанет* (75 тыс. т) с низкими содержаниями корунда.

К природным абразивам относятся некоторые сорта халцедонов (халцедоновые кремни), широко развитые в Казахстане. Главные месторождения халцедона находятся в Каратау (*Акмамедбулакское,*

Бельтабай, Приозерное, Шабактинское, Кайназарское, Коктальское и др.). Общие запасы абразивного халцедона составляют около 30 тыс. т. Часть сырья может использоваться как технический камень (антиабразив) для изготовления различных изделий (ступки, матрицы и т.п.). Высокодекоративные разности халцедона являются ювелирно-поделочными, запасы их подсчитаны отдельно. Микрокварциты в качестве абразивов предварительно оценены на месторождении Бурылбайтал (около 400 млн т).

Подсчитанные запасы кварц-полевошпатового сырья как абразивного материала приходятся в основном на редкометалльные пегматитовые месторождения Калбы в Восточном Казахстане (Верхнебаймурзинское, Бакенное, Калайы Тапкан, Ахметкино, Верхний Лабоксай и др.). Эти запасы суммарно составляют около 10 млн т. Сырье может попутно извлекаться при добыче танталовых руд.

В Казахстане известен ряд мелких месторождений и проявлений альмандинового граната с абразивными свойствами (Каинды, Караунгурское, Быргыз, Каскасуское и др.). Все проявления слабо изучены с низким (от 30 до 85 %) извлечением граната из пород.

Оптические материалы (пьезооптическое сырье). К этому виду сырья относятся пьезо- и оптический кварц (в том числе пригодный для плавки) и оптический флюорит. В Казахстане разведано несколько месторождений пьезооптического сырья. В Центральном Казахстане установлены месторождения *Актасское, Надырбай, Серек* и др. (пьезокварц, горный хрусталь, кварц для плавки), *Катбарское* (пьезокварц и флюорит оптический), *Кент* (оптический флюорит), в Восточном Казахстане – *Акжайляу* (пьезокварц и оптический флюорит), *Друзовое* (горный хрусталь), в Западном Казахстане – *Акшокы, Талдыкское, Каиндинское, Тулепсайское* с запасами десятки тыс.т кварца, пригодного для оптического стекловарения; в Южном Казахстане – *Сарыкольское* (оптический кварц), *Кызылбельдеу* (оптический флюорит, в том числе пригодный для плавки) и др. Большая часть месторождений не разрабатывалась.

13.3. 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 месторождения разделяются на крупные (>10 млн т), средние (1–10) и мелкие (<1).

На международном рынке цена 1 т чешуйчатого графита достигает $600, аморфного – $140.

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 России (*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 СНГ, Бразилии, Индии, Канаде.

Метаморфогенные месторождения занимают ведущее место в запасах и добыче графита. Они формировались за счет концентриро-

ванного 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), *Аягозская группа* (Казахстан). За рубежом подобного типа месторождения разрабатываются в Мексике, Южной Корее, Австрии.

Метаморфические месторождения, проуроченные к графитоносным гнейсам и кристаллическим сланцам, являются основным источником высококачественных чушайчатых графитовых руд. Месторождения образуются при графитизации органического вещества рассеянного в первично осадочной толще. Залежи – неправильные пласты и линзы графитовых вкрапленных руд – содержат от 2 до 30 % графита (редко до 60 %). Руды легко обогащаются. Разработка ведется обычно открытым способом. Крупные месторождения этого типа известны в СНГ (*Завальевское* на Украине, *Тайгинское* на Урале и *Безымянное* в Восточной Сибири), в Индии, Мадагаскаре, Германии.

На территории ***Казахстана*** выявлен ряд месторождений и проявлений преимущественно мелкочешуйчатого графита. Наиболее известные месторождения находятся в Восточном, Западном и Южном Казахстане. Разведаны месторождения: *Калгуттинское* – общие запасы около 10 млн т, в том числе по промышленным категориям – 1,1 млн т, *Карагайлинское* – 9,5 млн т (C_1+C_2), *Дельбегетей* – 4 млн т (P_1); ранее отрабатывались месторождения *Балтаран* и *Сия-Кезень*. Известен ряд месторождений и проявлений в районе *Акжайляу* и *Аягоза*. Мелкое месторождение *Акмола* предварительно изучено в Южном Казахстане. В этом же регионе установлены многочисленные мелкие проявления графита в Жонгарии, Кетмене, Кендыктасе.

В Центральном Казахстане выявлено перспективное графитовое проявление *Сарытоганбай* с крупными прогнозными ресурсами. В Мугалжарах наибольший интерес представляют *Актастинское* и *Богеткольское* крупномасштабные графитовые месторождения. Общая протяженность графитоносной полосы около 6 км, суммарная мощность пластов графитовых сланцев до 60 м, мощность отдельных графитовых линз до 3 м, содержание графита около 8 %. Месторождения не разведаны.

После дополнительных специализированных поисковых и разведочных работ в республике может быть создана крупная сырьевая база графитовой промышленности.

13.4. Слюды

Общие сведения

Из группы листовых алюмосиликатов, относимых к слюдам, промышленное значение имеют мусковит $KA1_2[Si_3AlO_{10}](OH)_2$, флогопит $K(Mg,Fe)_3[Si_3A1O_{10}](OH,F)_2$ и вермикулит $(Mg,Fe^{2+},Fe^{3+})3[(Si,A1)_4O_{10}](OH)_2H_2O$. Использование слюд в промышленности обусловлено их специфическими физическими свойствами: способностью расщепляться на тонкие, гибкие и прочные прозрачные пластинки, влагостойкостью, химической и термической стойкостью, высокими электроизоляционными свойствами.

Главными потребителями мусковита и флогопита являются электро- и радиотехническая отрасли промышленности (изоляторы, диэлектрики, защитные прокладки). Кроме того, эти минералы применяются при изготовлении мягких кровельных материалов, обоев, особых сортов бумаги и ряда других изделий, которым добавки слюд придают водо- и огнестойкость, декоративные свойства.

Вермикулит обладает способностью вспучиваться при обжиге (при температуре 900–1000°С) 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.

При производстве листовой слюды получают забойный сырец – кристаллы с площадью пластин более 4 $см^2$, из которых затем выделяют промышленный сырец – отсортированные без дефектные сколотые по спайности кристаллы, которые делятся на четыре сорта в зависимости от размера пластин ($см^2$): 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 $м^3$ горной массы. Крупными считаются месторождения с запасами слюды более 10 тыс. т, средними – от 1 до 10, мелкими – менее 1.

Цены на слюду на мировом рынке колеблются в широких пределах. В настоящее время стоимость 1 кг листовой слюды в блоках варьирует от 2 до 7 дол.

Типы промышленных месторождений

Среди месторождений мусковита и флогопита основное значение имеют пегматитовый и магматический (карбонатитовый) 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 Восточной Сибири, на Кольском полуострове (*Ковдорское*), в ЮАР (*Палабора*).

Пегматитовые месторождения являются единственным источником листового мусковита. Они располагаются в пределах щитов древних платформ. Пегматитовые тела имеют размеры по простиранию и падению от первых десятков до сотен метров (иногда 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 типа находятся в Восточной Сибири (*Мамско-Чуйский район*), Карелии (*Чупино-Лоухская группа*), на Кольском полуострове (*Енское, Стрельнинское*), в Индии, Бразилии, ЮАР, Австралии.

Мамско-Чуйская группа мусковитовых гранитных пегматитов приурочена к толще дислоцированных метаморфических пород, формирующих крупный асимметричный синклинорий. Пегматитовые тела имеют форму штоков, секущих жил, трубообразных и межпластовых залежей (рис. 13.3). Мощность жил 1–10 м и более. Промышленная мусковитоносность отмечается только в 5–10 % пегматитовых жил. Они сложены кварцем, микроклином, плагиоклазом, мусковитом, присутствуют биотит и альбит.

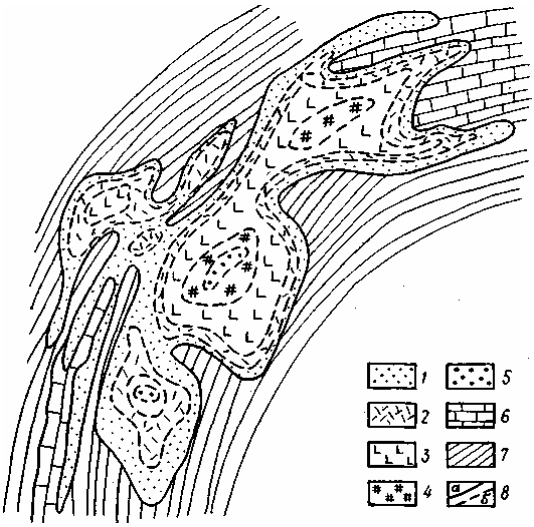


Рис. 13.3. Схемати-ческая геологическая карта пегматитовой жилы (по *А.Г. Бушеву* и *О.В. Казадаевой):*
1–3 – пегматит:
1 – мелкозернистый гранитовидный,
2 – крупнозернистый,
3 – графический;
4 – блоковый плагиоклаз;
5 – кварцевое ядро;
6 – известково-силикатные кристаллические породы;
7 – биотитовые гнейсы;
8 – контакты пегматитового тела

В Казахстане выявлено около 10 месторождений *вермикулита*. Из них шесть – разведаны. Наиболее крупными являются *Алтынтасское* и *Шолак-Кайрактинское* в Мугалжарах. Учтенные запасы суммарно составляют около 20 млн. т, в том числе 2/3 запасов приходится на *Шолак-Кайрактинское* месторождение. В этом же районе находится разведанное месторождение *Каратасское* (525 тыс.т, прогнозные ресурсы – 1,5 млн т). Западный Казахстан (Мугалжары) является крупной, подготовленной к освоению сырьевой базой для вермикулитовой промышленности.

В Северном Казахстане балансом учтены запасы *Барчинского* месторождения (450 тыс.т). Кроме вермикулита руды этого месторождения содержат гидрослюды (1,7 млн. т). На юге Казахстана в Каратау промышленный интерес представляют *Куланское* и *Иирсуйское* месторождения. Учтенные запасы вермикулита *Куланского* месторождения – 16,8 тыс.т, гидробиотита – 124,6 тыс.т. Предварительно оцененные ресурсы месторождения Иирсу – 1,2–1,5 млн т. Вблизи Куланского месторождения известно мелкое месторождение *Жиланды* (100 тыс.т). Прогнозные ресурсы вермикулита Каратау – 5–6 млн. т.

Промышленно интересными могут быть месторождения *Кубасадырское* (Приишимье) и *Неожиданное* (Сарысу-Тениз), прогнозные запасы вермикулита которых составляют соответственно – 3–4 и 2 млн т. На обоих месторождениях требуются оценочные и разведочные работы.

Перспективы Центрального и Северного Казахстана оцениваются не менее 10 млн т. В целом по Казахстану запасы вермикулита достаточны для получения в необходимых объемах материалов с высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами.

Наиболее известно месторождение мелкочешуйчатой слюды-мусковита *Кулетское* в Северном Казахстане. Месторождение среднее по размерам. Учтенные запасы по промышленным категориям – 19,7 млн т. Сырье отвечает требованиям для производства изоляционных материалов, предназначенных для различных покрытий в промышленности.

В Южном Казахстане предварительно изучено месторождение *Каинды*, представленное мелкочешуйчатым мусковитом, пригодным для производства молотой слюды. Запасы мусковита на этом месторождении оцениваются в 600 тыс.т.

В Восточно-Мугалжарском антиклинории отмечены многочисленные слюдоносные пегматитовые жилы, из которых возможна добыча мусковита.

Существенный резерв составляет попутная добыча слюды-мусковита из редкометалльных месторождений Калбы с запасами, тыс.т: *Ахметкино* – около 150, *Бакенное* – около 300, *Юбилейное* – 100, *Калайы-Тапкан* – 220, *Верхнебаймурзинское* – 160 и др.

13.5. 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 $(Mg,Fe)_6[Si_4O_{10}](OH)_8$. 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 воз-

действии кислот и щелочей, огнеупорность. Хризотил-асбесты применяются для изготовления асбестовых текстильных материалов и асбоцементных изделий, для производства асборезиновых листов, термоизоляционных материалов, асбоваты. Амфибол-асбесты используются, кроме того, для получения изделий с кислото- и щелочеупорными свойствами,. хорошей сопротивляемостью действию морской воды, высокой сорбционной способностью, а также для изготовления асбестокрасок.

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.

Цена хризотил-асбеста от 300 до 1200 $/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 плутоногенные 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.

Примерами месторождений асбеста данного типа являются *Баженовское, Алапаевское, Житыгара* (Урал), *Актовракское* (Республика Тыва), *Молодежное* (Забайкалье). 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 лежачего бока к которому примыкают гранитоиды (рис. 13.4). Материнские породы серпентинизирова-

ны, особенно интенсивно вблизи разломов. Форма промышленных залежей эллипсоидальная, штоко- и линзообразная. Мощность их 20–200 м, длина по простиранию – 200–200 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 м. Содержание длинных волокон 0,5–4 %, коротких – 2–3 %.

Скарновым месторождениям в магнезиальных карбонатных породах (магнезитах и доломитах) свойственны относительно небольшие запасы волокна. Асбест поперечно-волокнистый, маложелезистый. Формы залежей в основном линзо- и жилообразные. Месторождения этого типа находятся в Сибири (*Аспагаш*) и Киргизии (*Укок*), в ЮАР, США, Канаде.

Месторождения *амфибол-асбестов* встречаются в различных геологических условиях, приурочены к породам разного состава и по происхождению также многообразны, хотя принадлежат к одному генетическому типу – гидротермальному. Месторождения крокидолит- и амозит-асбестов известны в Южной Африке, Западной Австралии, антофиллит-асбестов – на Урале (Сысертская группа), Мугалжарах (Богетсай), родусит-асбеста – в Западной Сибири, Центральном Казахстане, Боливии.

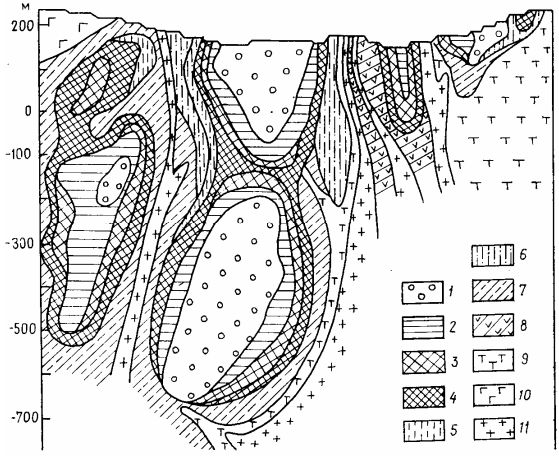


Рис. 13.4. Разрез Баженовского месторождения (по *И.Ф. Романовичу* и др.): *1–2* – перидотиты: *1* – безрудные, *2* – с отороченными жилами асбеста; *3* – перидотиты и серпентиниты с крупной сеткой жил асбеста; *4–8* – серпентиниты: *4* – с мелкой сеткой жил асбеста, *5* – с мелкопрожилом, *6* – с просечками 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

Казахстан богат ресурсами асбестов, представленных месторождениями антофиллит-, хризотил- и родусит-асбеста. Основные промышленные месторождения антофиллит-асбеста находятся в Южно-Мугалжарской группе месторождений (*Бугетысайское, Китарсайское, Каиндинское, Июльское, Солнечное* и др.). Общие запасы – 1,1 млн т руды (91,3 тыс.т волокна). Наиболее крупным из разведанных месторождений является *Бугетысайское*, запасы которого составляют 2/3 запасов всей группы месторождений. Остальные месторождения мелкие (до 6 тыс. т волокна). В соседней Кайрактинской асбестоносной зоне известен ряд проявлений с общими запасами волокна – 5 тыс. т и прогнозными – 30–40 тыс. т. В Тенельдытауской зоне (северо-восточнее Кайрактинской) обнаружены перспективные проявления с общими прогнозными ресурсами волокна в 50–60 тыс.т.

Потребности в антофиллит-асбесте могут быть обеспечены за счет освоения разведанных месторождений Южно-Мугалжарской группы и дополнительной оценки в этом районе известных проявлений.

Месторождения хризотил-асбеста более широко развиты в Казахстане. Наиболее крупным является *Житыгаринское месторождение*, запасы которого составляют 16,5 млн. т.

Второе по масштабам месторождение хризотил-асбеста *Ешкиольмес* в Центральном Казахстане имеет разведанные запасы 10,3 млн т, перспективные – 20 млн т. Из-за низких содержаний асбеста и пониженной прочности волокна экономическая целесообразность освоения месторождения пока не определена.

Более мелкие месторождения хризотил-асбеста известны в Южных Мугалжарах (*Бильге* и др.), Северном Казахстане (*Батмановское*), Западном Прибалхашье (*Хантауское*), Восточном (*Белогорское*), Центральном Казахстане (*Шайтантас* и др.).

Промышленные месторождения родусит-асбеста *Кумола* и *Ушбулак* находятся в Жезказганском районе. Месторождения подготовлены к эксплуатации. Учтенные запасы соответствуют крупным месторождениям. Сырье удовлетворяет требованиям технических условий “голубой асбест”. Все разновидности родусита обладают высокой термо- и химстойкостью, сорбционными и диэлектрическими свойствами, дисперсностью, что позволяет использовать родусит при изготовлении разнообразных изделий как самостоятельно, так и в композиции с другими компонентами. Помимо Жезказганского района потенциально родуситоносными считаются Тенизская и Шуйская впадины, где установлена родуситовая минерализация.

13.6. Тальк

Общие сведения

Тальк – $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$. Близкий ему по составу и структуре пирофиллит $Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2$ 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 обусловливают широкое использование талька и пирофиллита в бумажной, лакокрасочной, резиновой, керамической, химической (ядохимикаты), кондитерской, парфюмерной и фармацевтической отраслях промышленности, в литейном деле.

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 различают крупные (>5 млн. т), средние (5–0,5) и мелкие (<0,5) месторождения.

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 отталькования. Залежи талькитов имеют линзо- и жилообразную 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 Корее, Японии (пирофиллит).

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 порошковатые руды, формирующиеся в зонах выветривания коренных месторождений различного генезиса. Руды отличаются высоким качеством. Мощность коры выветривания достигает 250 м.

В Казахстане выявлено несколько месторождений и проявлений талька и талькового камня. На большинстве месторождений тальк находится совместно с магнезитом (тальк-магнезитовые руды). Балансом учтены два месторождения: *Кентерлауское* в Северном Прибалхашье (запасы талькового камня по C_1+C_2 – 17,6 млн т) и *Каракудукское* в Западном Казахстане (запасы талька по C_2 – 53,2 млн т, магнезита – 28,6 млн т). В этом же районе известна слабо изученная *Эбетинская группа* проявлений талька и талькового камня.

В Восточном Казахстане находится одно из крупнейших месторождений талько-магнезитов – *Курчумское* (запасы по C_1+C_2 – 342 млн т). Перспективы месторождения, а также района в целом высокие. На юге Казахстана в Малом Каратау тальковые залежи ассоциируют с фосфоритами (*Шолактау* и др.). В Большом Каратау выявлены собственно тальковое месторождение *Бессазское* (около 40 млн. т тальковых пород) и проявление *Акчеческое*.

В Северном Казахстане разведано месторождение талька *Житыгаринское (участок Ближний)* с запасами по C_1 9,1 млн. т и прогнозными около 3 млн. т. В регионе выявлен ряд более мелких проявлений талька.

В целом Казахстан располагает крупной сырьевой базой талька и талькового камня, практически готовой к освоению.

13.7. Флюорит

Общие сведения

Флюорит (плавиковый шпат) – CaF_2. Используется как сырье для получения плавиковой кислоты и других соединений фтора, в том числе искусственного криолита ($3NaF \cdot AlF_3$), необходимого в производстве алюминия. В металлургической промышленности флюорит применяется в качестве флюса; 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 6х6х6 мм.

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 зарубежных странах главную роль играют 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 (*Кентский массив*).

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 *Абагайтуйское, Калангуйское, Даринское* в Забайкалье; *Аурахматское, Такобское* и *Хайдаркан* в Средней Азии. За рубежом подобные месторождения известны в США, Мексике, Канаде, Испании, Франции, Италии.

В Казахстане состояние минерально-сырьевой базы флюорита расценивается как вполне удовлетворительное. Наиболее крупным является месторождение *Таскайнар* в Южном Казахстане, представленное стратиформными залежами кальцит-флюоритовых и кварц-флюоритовых руд. Более мелкими по масштабам являются жильные кварц-кальцит-флюоритовые месторождения *Куланкетпес, Мынарал, Восточно-Каражальское* и др., а также флюорит-баритовые (*Бадамское* и др.). Значительные ресурсы флюорита заключены в низкосортных карбонатно-флюоритовых рудах (оплавикованных известняках) месторождения *Солнечное* в Центральном Казахстане. Все эти месторождения не разрабатываются, отнесены к резервным. Попутное из-

влечение фтора в Казахстане осуществляется при переработке фосфоритовых руд Каратауского бассейна. Запасы выявленных и подтвержденных флюоритовых руд в Казахстане оцениваются в десятки млн т.

13.8. Магнезит и брусит

Общие сведения

Магнезит – $MgCO_3$ 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, огнестойких красок. Искусственный периклаз (MgO) является ценным огнеупором, используется для получения огнеупорных кирпичей, магнезитовых стаканов и вкладышей для сталелитейного, сернокислотного и цементного производства.

Требования к качеству магнезита и бруситита устанавливаются техническими условиями и стандартами, в которых определяются пределы содержаний MgO, CaO, SiO_2, Fe_2O_3.

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. 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.

Саткинское месторождение (группа из 14 месторождений) локализуется в доломитовой толще мощностью до 500 м, прорванной дайками диабазов (рис. 13.5). 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 Югославии и Греции.

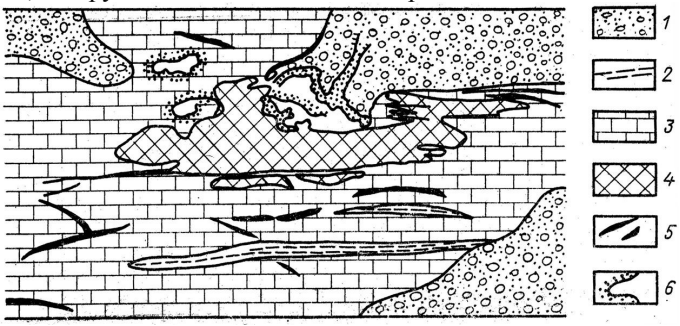


Рис. 13.5. Геологическая карта Саткинского месторождения магнезита Гора Карагай (по *М.И. Гарань): 1* – наносы; *2* – мергелистый доломит; *3* – доломит; *4* – магнезит; *5* – диабаз; *6* – отвалы

В Казахстане запасы магнезита, пригодного для производства магнезиальных огнеупоров, разведаны на четырех месторождениях: *Сарыкуболды, Кенеспай, Масьяновское, Кентерлауское*. Магнезитовые месторождения пространственно тесно ассоциируют с кобальт-никелевыми и тальковыми месторождениями, связанными с корами выветривания серпентинитов. На всех месторождениях развиты тальк-магнезитовые руды, которые при добавке 20–30 % чистого магнезита могут служить сырьем для производства магнезиальных огнеупоров. Из других неразведанных по промышленным категориям наиболее крупным по запасам является *Курчумское месторождение*, запасы магнезитовых руд (C_1+C_2) которого составляют 342 млн т. Более мелкие проявления тальк-магнезиальных пород широко развиты в Чарском и Горностаевском гипербазитовых поя-

сах, а также в других районах Алтая и Чингиз-Тарбагатая. Магнезиты известны в Кемпирсайском рудном районе в рудных полях хромитовых месторождений. На месторождении *Миллионном* запасы магнезита 5 млн. т, в том числе "чистого" магнезиального сырья 1 млн. т, прогнозные ресурсы – 14,1 млн. т.

13.9. 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 каркаснополостным строением. 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 обусловливает 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 1960-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.

Качество сырья оценивается по содержанию цеолитов, их минеральному и химическому составам, сорбционным и ионообменным свойствам. Породы, содержащие 75 % цеолитов, используются без обогащения. Применяя обогащение, можно разрабатывать породы, содержащие 40–60 % цеолитов.

В зависимости от области применения цены на товарные природные цеолиты колеблются от 10 до 200 $/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 континентального типа, осадочных месторождениях бокситов, марганца, фосфоритов, угленосных отложениях.

Гидротермальные вулканогенные месторождения пространственно и генетически связаны с андезит-дацитовым вулканизмом складчатых областей и эффузивным трапповым магматизмом платформ. Рудные тела представлены пластообразными залежами в лавах и туфах с содержанием цеолитов 50–90 % или пластами и линзами пепловых стекловатых туфов липаритов, дацитов и андезитов, в которых стекло замещено цеолитами, содержание последних в этом случае достигает 95%. Месторождения первого подтипа (Камчатка, Курильские острова, Новая Зеландия) играют пока ограниченную роль. Месторождения второго подтипа, рассматриваемые рядом исследователей как стратиформные, весьма широко распространены, содержат основные запасы цеолитов и эксплуатируются во многих странах мира.

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, Югославии, Румынии, Болгарии.

На *Айдагском месторождении* (рис. 13.6) пластообразное тело цеолитовых пород мощностью 20–40 м, залегающее в известняках, простирается на 2,5 км и прослежено на глубину до 700 м.

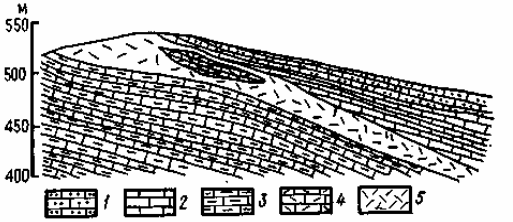


Рис. 13.6. Схематический геологический разрез участка Айдагского месторождения (по *А.И. Кулиеву): 1–4* – известняки: *1–2* – кампан-маастрихтские (*1* – плитчатые светло-серые. *2* – серые песчанистые), *3* – верхнесантонские белые, *4* – с туфогенным материалом; *5* – белые цеолитизированные туфы (собственно Айдагский пласт)

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.

В Казахстане известны четыре месторождения цеолитов, средние по размерам. Из них два (*Шанканай* и *Тайжузген*) разведаны с оценкой запасов по промышленным категориям. Запасы месторождения Тайжузген (Восточный Казахстан) – 7 млн. т, прогнозные – 215 млн. т, месторождения Шанканай (Южная Жонгария) – 4,3 млн. т. В Южном Казахстане предварительно оценены месторождения *Алтын-Емельское* (41 млн. т) и *Каржантауское*. Горнотехнические условия для эксплуатации казахстанских месторождений цеолитов благоприятные. Потенциальные потребители природного цеолитового сырья – сельское хозяйство, цементная, химическая, металлургическая промышленность и др.

13.10. Минеральные соли и бор

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 MaCl, сильвин KCl, бишофит $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, карналлит $KCl \cdot MgC1_2 \cdot 6H_2O$, каинит $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$, эпсомит $MgSO_4 \cdot H_2O$, тенардит Na_2SO_4, мирабилит $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$, лангбейнит $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$, природная сода $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ 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 пище-

вой соли содержание хлористого натрия должно быть не менее 97% (II сорт), для технической – 97,5–98%, а для кормовой – 90–95 %. Требованиями промышленности ограничено содержание вредных примесей: кальция, магния, калия, сульфатов, нерастворимого остатка.

Калийные соли применяются при производстве удобрений (95 % добычи), хлористого, сульфатного и каустического калия, поташа и других химических препаратов. Промышленность перерабатывает калийные руды с содержанием хлористого калия 20–35 % и более. При наличии примесей хлористого 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.

Цена калийных солей колеблется от 70 до 80 $/т.

Бор входит в состав многих минералов, однако промышленное значение имеют лишь кернит $Na_2B_4O_7{\cdot}4H_2O$ (B_2O_3 51,0 %), улексит $NaCaB_5O_9{\cdot}8H_2O$ (43,0), колеманит $Ca_2B_6O_{11}{\cdot}5H_2O$ (50,9), пандермит $Ca_4B_{10}O_{19}{\cdot}7H_2O$ (49,8) гидроборацит $CaMgB_6O_{11}{\cdot}6H_2O$ (50,6), ашарит $Mg_2B_2O_5{\cdot}H_2O$ (41,4), калиборнит $KMg_2B_{11}O_{19}{\cdot}9H_2O$ (57,0), датолит $CaBSiO_4(OH)$ (21,8), данбурит $CaB_2Si_2O_8$ (28,3) и др.

Бор применяется более чем в ста отраслях промышленности и сельского хозяйства (стекольная и керамическая промышленность, в производстве мыла и отбеливающих средств, в медицине, лакокрасочной и парфюмерной промышленности, производстве особо прочных деталей и др.).

Руды с содержанием B_2O_3 20–25 % идут в переработку без обогащения, а бедные руды (2–13 % B_2O_3) требуют обогащения. Крупными проиводителями бора являютя США, Турция, КНР, Аргентина и др.

Уникальные месторождения с запасами руды более 10 млн. т, крупные – от 1 до 10, средние – от 0,25 до 1, мелкие – менее 0,25 млн. т.

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) соляно-купольные и диапировые (соляные штоки). Месторождения первых двух типов характеризуются слоистым внутренним строением, пластовой и линзовидной формой залежей. К пластовым ненарушенным относятся *Славяно-Артемовский, Ангаро-Ленский, Белорусский (Старобинский), Припятский* и *Верхнекамский бассейны* в СНГ, *Страсфуртский* (Германии) 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 км^2, глубина их залегания – от нескольких сотен метров до 2 км. Месторождения этого типа распространены в Волго-Урало-Эмбинском районе (*Илецкое*), на Украине, в Вилюйской впадине (*Кемпендяйское*), в США (*штаты Техас* и *Луизиана*), Румынии, Польше, Иране.

Верхнекамское месторождение на Урале связано с мощной толщей осадочных пород пермского возраста (см. рис. 11.3). 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 КС1 в карналлитовой породе18–20 %, в сильвините от 10 до 56 %. Запасы калийных солей (в пересчете на K_2O) 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* – заливлагуна 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.

Ресурсы Казахстана. *Калийные соли.* Основные разведанные запасы и прогнозные ресурсы калийных солей в Казахстане приходятся на Северный Прикаспий (преимущественно хлористые калийные соли) и Актобинское Приуралье (преимущественно сульфатные калийные соли). В Северном Прикаспии балансом учтено лишь около 8 млн. т двуокиси калия. Прогнозные ресурсы (P_1–P_3) около 500 млн. т (*Индер, Шалкарское, Сатимола* и др.). По Актобинскому Приуралью суммарные балансовые запасы (включая C_2) составляют около 100 млн. т (*Жилянское месторождение*). Руды этого месторождения пригодны для получения эффективных комплексных сульфатно-калийных удобрений. Прогнозные ресурсы калийных солей месторождения оцениваются в 300 млн. т. В конце 1980-х годов прогнозные ресурсы калийных солей по Западному Казахстану составляли 1 млрд. т, в том числе на долю сульфатного (полигалитового) типа солей приходится 217 млн. т.

Поваренная соль, сульфат натрия и *природная сода.* В Казахстане выявлены многочисленные месторождения ископаемых (каменных) солей и месторождения в соленых озерах. Значительные запасы каменной соли заключены в ядрах соляных куполов Прикаспия и купольных структурах Шу-Сарысуской впадины. Наиболее крупное *Индерское (Белая Ростошь)* месторождение каменной соли приурочено к своду Индерского соляного купола. Разведанные запасы поваренной

каменной соли (технические сорта) здесь составляют 709 млн. т, в том числе по промышленным категориям разведано около 40 млн. т. Месторождение подготовлено к освоению. Запасы разведанного месторождения каменной поваренной соли *Тогайбай-Мечеть* составляют 70,5 млн. т. В Индерском районе находится крупное озерное месторождение *Индер* с запасами самосадочной пищевой поваренной соли около 1,5 млрд. т, в том числе по промышленным категориям 647 млн. т. Месторождение разрабатывается с 1993 г. Другие озерные месторождения поваренной соли в Прикаспии – *Кишкене-Туз, Балгасин-Туз, Оймаша-Туз, Курган-Туз*, а также мелкие по масштабам законсервированы. В Северном и Южном Казахстане запасы самосадочной поваренной соли на разведанных месторождениях составляют, млн. т: *Б.Калкаман* – 14,8, *Маралды* – 29,3, *Жаксы-Клыш* – 70 поваренной соли и 80 соли сульфатной.

Кроме оз. Жаксы-Клыш, сырьевая база природного сульфата натрия дополняется погребенными рассолами, донными отложениями мирабилита, реже тенардита, более 10 озерных месторождений разведаны по промышленным категориям. Ископаемые залежи сульфатно-натриевых солей известны в межгорных и предгорных впадинах Южного Казахстана (*Шольадыр, Ащиколь, Узунсу* и др.), в платформенных депрессиях Восточного Прикаспия и Приаралье. Прогнозные ресурсы месторождения Шольадыр следующие, млрд. т: каменной поваренной соли – 2,5, сульфатных солей – 1,5, гипса – 430 млн. т. Оно изучено на стадии поисково-оценочных работ.

В целом Казахстан располагает крупными запасами поваренной соли и сульфата натрия. Слабо изучены в республике месторождения и проявления природной соды. Огромные запасы содового сырья (поваренная соль, мел, известняки, ракушечники) для получения кальцинированной и каустической соды находятся в Западном Казахстане. Балансом содовое сырье учтено только на месторождении *Белая Ростошь (каменная соль и писчий мел)*.

Перспективными для поисков месторождений природной соды остаются Предуралье и Прикаспий.

Бораты. Прикаспийская впадина является единственным регионом Казахстана, где сосредоточены все разведанные и прогнозные ресурсы борных руд. Учтенные балансом запасы боратов галогенного типа приходятся на два крупных месторождения – *Индерское* и *Сатимола*.

Существенным резервом укрепления борно-сырьевой базы Прикаспия могут служить борно-калийные соли, которые являются более легкообогатимыми и характеризуются большими масштабами запасов (*Индер, Сатимола, Шалкарское* и др.).

Борно-калийные руды комплексные, попутно с бором извлекаются калий, магний и бром.

Прогнозные ресурсы борных руд по 15 соляным куполам Прикаспия оцениваются в несколько десятков млн. т. Потенциальным источником получения борных продуктов являются рассолы (рапа) соляных озер и нефтяные воды Прикаспийской впадины.

Проявления борного оруденения (датолит, людвигит) в скарнах полиметаллических, железных и медных месторождений практического интереса не представляют.

13.11. Фосфатное сырье

Общие сведения

Основное промышленное значение как фосфатное сырье имеют апатиты и фосфориты. Апатит – минерал переменного состава с общей формулой $Ca_5[PO_4]_3 \cdot (F,Cl,OH)$. В качестве примесей присутствуют стронций, барий, магний, редкие земли и др.

Фосфориты – это осадочные горные породы (глинистые, карбонатные, смешанные), содержащие фосфаты, близкие по составу апатиту. 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-титаномагнетитовые). Апатит-нефелиновые руды хорошо обогащаются флотацией с получением высокосортного апатитового концентрата (39,4 % P_2O_5).

Фосфориты по минеральному составу и текстурно-структурным признакам разделяются на природные литологические типы: микрозернистые, зернистые, желваковые (конкреционные), галечниковые и конгломератовые, ракушечные, рыхлые и каменистые. По содержанию фосфора различают собственно фосфориты и фосфатные пески, мергели, известняки. Качество фосфоритов определяется содержанием P_2O_5 и вредных примесей – MgO, Fe_2O_3, CO_2, $A1_2O_3$ и др. К промышленным относят фосфоритовые руды с содержанием в них P_2O_5 не менее 3 % при условии их легкой обогатимости.

Крупными считаются месторождения фосфатного сырья с запасами более 200 млн т, средними – от 200 до 50, мелкими – менее 50 млн т.

Основными добывающими странами (70,%, добычи) являются США и Марокко. Цены на фосфатное сырье колеблются в зависимости от его качества; 1 т фосфоритовой руды (30 % P_2O_5) стоит около 30 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 породообразующий минерал относительно равномерно распределен в материнских интрузивах, но содержание его незначительно (2–4 % P_2O_5). Примером является *Ошурковское месторождение* в Бурятии.

Апатит-нефелиновые месторождения пространственно и генетически связаны с интрузиями нефелиновых сиенитов, развитыми на щитах и в краевых зонах платформ. В сложении массивов участвуют нефелиновые сиениты (хибиниты, рисчорриты, луявриты) и бесполевошпатовые нефелин-пироксеновые породы (преимущественно ийолит-уртиты). Промышленные месторождения данного типа известны в России на Кольском полуострове (месторождения Хибинского массива – *Кукисвумчорр, Юкспор, Апатитовый цирк, плато Расвумчорр, Коашва*), 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. 13.7). Длина рудных тел от нескольких сотен метров до первых километров, мощность – от десятков до нескольких сотен метров. Рудные горизонты в залежи разделены безрудными уртитами. 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%.

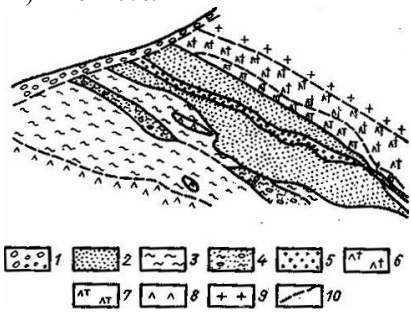


Рис. 13.7. Геологический разрез месторождения Кукисвумчорр (по *Г.М. Вировлянскому* и др.): *1* – наносы; *2–4* – руды: *2* – пятнистые; *3* – линзовидно-полосчатые, *4* – крупноблоковые; *5* – апатитовая брекчия; *6–7* – ийолит: *6* – полевошпатовый, *7* – сфенизированный; *8* – ийолит-уртит; *9* – рисчоррит; *10* – магматические контакты

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, *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. 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 Казахстане (*Каратауское*), за рубежом – в Монголии, Австралии, США.

Фосфоритоносный бассейн Каратау включает порядка 40 месторождений, основные из них приведены в табл. 13.1. Бассейн сложен известняками, доломитами, кремнистыми породами протерозоя, палеозоя и кайнозоя.

Таблица 13.1

Основные месторождения фосфоритов М. Каратау

Группа	Месторождение	Протяженность, км	Количество пластов	Ср. мощность, м	Среднее содержание P_2O_5, %	Запасы, % к общим
I	Шолактау II	4,5	1	11,6	25,8	4,0
II	Аксай I (III)	7,0	1	14,5	24,0	12,0
	Аксай II	8,0	2	3,0	25,0	
	Туйесай (I и II)	4,3	1	10,0	24,0	
III	Буркитты I	6,0	2	3,1	26,0	4,0
	Жылан	5	1	3,0	28,0	
V	Коксу	13	2	11,0	26,3	24,0
	Ушбас I (правый берег)	5	1-2	8,0	26,0	
	Ушбас (левый берег)	4	7	25,0	26,0	
	Герес	6	1	10,6	25,7	
V	Жанатас	23,0	2	21,0	25,1	56,0
	Кокжон	21,0	2	14,4	27,4	

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. 13.8). 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). В СНГ к крупным по запасам относятся *Волжский, Днепровско-Донецкий* и *Актюбинский фосфоритовые бассейны*. Подобные месторождения известны в Бельгии, Франции, Великобритании.

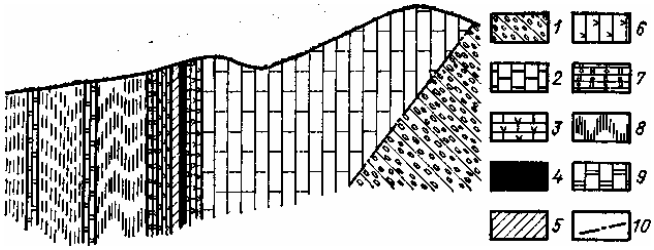


Рис. 13.8. Геологический разрез центральной части фосфоритового месторождения Шолактау (по *Б.М. Гиммельфарду* и *А.С. Соколову*):
1 – верхнедевонские конгломераты; 2–3 – нижнесилурийские-среднекембрийские породы; *4–7* – среднекембрийские образования (фосфоритные пачки: *4* – главная фосфоритовая, *5* – фосфатно-кремниевая и нижняя фосфоритовая, *6* – кремневая); 8–9 – нижнекембрийские отложения; *10* – разрывные нарушения

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.

В Казахстане *в учтенном балансе запасов фосфатных руд* основное значение имеют фосфоритовые руды (микрозернистые и желваковые). Месторождения фосфоритов сосредоточены в двух крупных бассейнах: Малокаратауском (микрозернистые фосфориты) и Актобинском (желваковые фосфориты). *Малокаратауский бассейн* объединяет 14 промышленных месторождений (*Шолактау, Аксай, Коксу, Жанатас, Кокжон* и др.) с балансовыми запасами 550 млн. т. Прогнозные ресурсы бассейна оцениваются в 2 млрд. т. *Актобинский бассейн* объединяет 9 месторождений (*Чилисайское, Алгинское, Богдановское, Коктобинское* и др.), суммарные балансовые запасы которых составляют 125 млн. т пятиокиси фосфора. Большая часть этих запасов (90 млн. т) сосредоточена на Шилисайском месторождении. Прогнозные ресурсы бассейна оцениваются в 104 млн. т P_2O_5. Резервный источник фосфатного сырья в Казахстане – апатитовые руды слабо изученных месторождений, расположенных в Кокшетауском районе (Красномайский массив), пока слабо изучены. Важным резервным источником фосфатного сырья являются апатитсодержащие магнетитовые руды Соколовского, Сарбайского, Качарского и других железорудных месторождений Торгая, из которых при очистке продуктов

обогащения возможно получение ежегодно до 100 тыс. т апатитового концентрата.

Прогнозные ресурсы апатитовых руд оцениваются в 147 млн. т фосфорного ангидрита.

На западе и юге Казахстана (Мангистау, Приаралье, Торгай) наряду с желваковыми широко развиты зернистые фосфориты, имеющие пока подчиненное значение в балансе прогнозных ресурсов фосфоритовых руд, но представляющие интерес благодаря простой технологии добычи и обогащения.

13.12. 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%). Цена технической серы варьирует от 100 до 140 дол. за 1 т.

В Казахстане известны два небольших и недостаточно изученных месторождения: *Подгорненское* в восточной части Прикаспийской впадины и *Улькен-Бурылтау* в Шу-Сарысуйской впадине. По работам поисковой стадии прогнозные (авторские) ресурсы Подгорненского месторождения оцениваются в 5 млн. т.

Помимо самородной серы в Казахстане имеются значительные ресурсы общей и пиритной серы колчеданных руд. На месторождениях Рудного Алтая запасы общей и пиритной серы оцениваются в десятки млн. т. На Николаевском месторождении содержится 14 млн. т серы, Орловском – 8,6 млн. т, в Текелийской группе месторождений – более 10 млн. т серы. Большие ресурсы серы содержатся в серосодержащих газах заводов цветной металлургии республики и нефтяных месторождениях Прикаспия.

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. К ним относятся месторождения Камчатки, Курильских островов, Закавказья (*Гюмюр*), Японии (*Мацуо, Адзума*), Чили (*Копиано*), Перу, Филиппин.

Осадочные биохимические месторождения возникают в водных бассейнах. Они заключают около 80 % мировых запасов и обеспечивают 95 % добычи самородной серы. Сингенетические месторождения (Туркмения, Поволжье, Ливия, Австралия) не имеют промышленного значения. Крупные эпигенетические месторождения находятся в Прикарпатье (*Роздольское, Язовское*), Поволжье (*Водинское, Алексеевское*), в Средней Азии (*Гаурдак*). Они известны в Польше, Мексике, Италии, Испании, Франции, Ираке.

13.13. 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 – осадочные кремнистые горные породы биохимического происхождения. Содержание кремнистых минера-

лов (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 0,43–0,96 т/м^3 у диатомита до 1,04–1,80 т/м^3 у опок), хорошие звуко- и теплоизоляционные свойства, химическая устойчивость, абразивность. Прочность диатомитов 50–300 МПа, опок до 20–30 МПа.

Крупные месторождения кремнистых пород имеют запасы в несколько миллионов тонн, средние – сотни тысяч-миллион тонн, мелкие – менее 100 тыс. т.

В СНГ только для цементной промышленности получают 7 млн т кремнистых пород. Цена их (в полуфабрикатах) колеблется от 2 до 21 $/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 80–100 м.

Районами развития пластовых залежей кремнистых пород являются Среднее Поволжье (*Инзенское, Сенгилеевское, Вольское*), восточный склон Урала и Зауралье (*Потанинское, Ирбитское, Камышловское*), центральные области европейской части страны (*Зикеевское, Фокинское*), Белоруссия, Северный Кавказ и Закавказье. Крупнейшие месторождения известны в США, Франции, Германии, Испании, Алжире, Австралии.

13.14. 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 получают в результате дробления добытой горной породы и разделения на фракции.

Для различных целей используются следующие горные породы:

1) сооружение фундаментов (бутовый, пильный и колотый камень) – все виды плотных горных пород;

2) кладка стен (стеновые камни и блоки, тесаный камень) – пористые породы: известняки-ракушечники, туфы, доломиты, песчаники;

3) наружная облицовка (облицовочные плиты и камни, профильные элементы) – гранит, габбро, базальт, вулканический туф, мрамор, плотный известняк, песчаник;

4) внутренняя облицовка (облицовочные плиты, профильные элементы) – мрамор, мраморизованный известняк, травертин, вулканический туф;

5) дорожные покрытия (камни бортовые, брусчатка, камень колотый) – гранит, диорит, габбро, базальт, песчаник, плотный известняк;

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 100–200 МПа и более для магматических пород.

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 разделяют на крупные (>30 млн. $м^3$), средние (15–30 млн. $м^3$) и мелкие (<15 млн. $м^3$).

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. Суммарная добыча строительного камня в СНГ превышает 500 млн. $м^3$.

В Казахстане создана мощная сырьевая база для промышленности строительных материалов. Разведаны многочисленные месторождения практически всех основных видов этого сырья. В последние годы на учете находилось более 1500 месторождений строительных материалов. Из них половину составляют месторождения кирпично-черепичных глин, песчано-гравийной смеси, строительного камня. Остальные виды стройматериалов представлены месторождениями облицовочных и стеновых (пильных) камней, цементного (известняки, глинистые породы, витрофиры), керамзитового (глины, суглинки, аргиллиты, сланцы), петургического (базальты, габбро, диабазы) сырья, минеральных красок (природных пигментов), гипса и ангидрита. Республика полностью удовлетворяет собственные потребности в строительных материалах, обеспеченность ими достаточно высокая. Из учтенных месторождений до недавнего времени (1980-е годы) эксплуатировалось не более 30 %.

Облицовочные, стеновые и пильные камни. Казахстан располагает многочисленными месторождениями и проявлениями облицовочных, стеновых и пильных камней, среди первых преобладают граниты, габбро, порфиры, туфы, мрамор и мраморизованные известняки, среди вторых – известняки, ракушечники. Многие месторождения разведаны, часть эксплуатируется, значительное количество находится в резерве или консервации. Среди разведанных месторождений облицовочных материалов около десяти представлены гранитами (*Кордайское, Жельтауское, Теректинское, Жалгыз-5, Алатагыл, Межовское* и др.), три – габбро (*Топарское, Шарыктас, Катынадырское*), два – амазонитами (*Майкольское, Золотоноша*), четыре – порфиритами и туфами (*Акбастауское, Архарлинское, Карлыгаш, Сарыбулакское*), девять – мраморами (*Тасколь, Екпинды, Саяк, Ащибулакское, Кальжирское, Комаровское, Тешиктасское, Теректинское, Донгулек*), более тридцати – известняками-ракушечниками (*Жетыбайское, Бейнеуское, Саура II, Кызыл-Туранское*, *Мангышлакское II, III, Жельтауское, Саутты, Шекара, Ералиевское, Кокосовый 3, Разъезд №4,6, Тюлькули, Монтайташское, Котырбулакское* и др.). Основные запасы пильного камня – известняка-ракушечника (около 150 млн. $м^3$, в том числе более 20 млн $м^3$ облицовочного сорта) сосредоточены в пяти месторождениях. Обеспеченность Казахстана облицовочным стеновым и пильным мате-

риалами высокая.

Керамзитовое сырье. Сырьевая база по производству керамзитового сырья в Казахстане удовлетворительная. Она представлена месторождениями легкоплавких глин, суглинков, аргиллитов, глинистых сланцев и других видов сырья.

Учтены 32 месторождения керамзитового сырья с общими запасами более 300 млн. $м^3$, в том числе по промышленным категория более 150 млн. $м^3$. Из них 80 % запасов сосредоточено в 10 крупнейших месторождениях: *Дарбазинское* (26,5 млн. $м^3$), *Алаботинское* (15,0 млн. $м^3$), *Аденсу* (15,0 млн. $м^3$), *Даниловское* (13,6 млн. $м^3$), *Бузулукское* (12,8 млн. $м^3$), *Келесское* (13,8 млн. $м^3$), *Сорское* (12,5 млн. $м^3$), *Акбулакское* (10,3 млн. $м^3$), *Алебастр* (9,6 млн. $м^3$), *Боровское* (71,1 млн. $м^3$). Запасы других месторождений от 2 до 5 млн. $м^3$ сырья. На Сарбайском месторождении железных руд керамзитовые глины входят в состав вскрышных пород, запасы составляют более 14 млн. $м^3$. Крупные скопления керамзитовых глин выявлены в Западном Казахстане (месторождения *Саздинское, Тамдинское, Погодаевское, Туркайское* и др.). Многие разведанные месторождения керамзитовых глин не осваиваются.

Петургическое сырье. Это базальты, габбро-диабазы и другие породы, пригодные для производства изделий каменного литья и минеральной ваты. Казахстан имеет значительный потенциал петургического сырья. До начала 90-х гг. XX в. на учете было 11 месторождений с разведанными запасами по промышленным категориям около 75 млн. т. К наиболее крупным относятся месторождения: *Даубаба* (19,4 млн. т), *Ташкурсайское* (15,7 млн. т), *Ушкызыл* (6,7 млн. т), *Дорменсай* (5,9 млн. т), *Караузекское* (5,7 млн. т), *Козыревское* (3,8 млн. т), *Бедаревское* (3,2 млн. т), *Черная Мазарка* (2,8 млн. т) и др. Прирост запасов возможен как за счет доразведки известных месторождений, так и вновь выявленных. Установлено, что *волластонит месторождения Аксоран* в Центральном Казахстане является сырьем, пригодным для получения минеральной ваты высокого качества. Запасы волластонита на этом месторождении оцениваются в 50 млн. т.

Общие ресурсы петургического сырья в Казахстане вполне достаточны для организации камнелитейного производства.

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

сложены гранитами, гранодиоритами, сиенитами, диоритами, габбро, лабрадоритами. Месторождения эффузивного подтипа 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 (*Сюскгояксаари, Питкяранта*), на Украине (*Емельяновекое, Корнинское, Капустинское, Токовское*); на Северном Кавказе и Закавказье (*Ратеванское, Артикское*); Урале (*Сибирское*), в Средней Азии и Казахстане; 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. Подобные месторождения расположены в Прибалтике (*Каарма, Сауриема*), центральных районах европейской части России (*Коробчеевское*), Крыму (*Биюк-Янкойское*), Закавказье (*Давалинское*),

Метаморфогенные месторождения представлены пластообразными залежами мраморов, кварцитов, гнейсов. Среди докембрийских, палеозойских и мезозойских кристаллических пород кварцитовые месторождения крайне редки. Наиболее известным из них является *Шокшинское месторождение* в Карелии. Небольшие месторождения находятся на Украине (*Толкачи, Белокоровичи*), Урале (*Машакское*). Месторождения мрамора широко распространены в Карелии (*Киви-Шурья, Белая Гора*) на Украине (*Требушанское, Кругловское*), в Закавказье (*Молитское, Дезское, Годоганское, Лопотское*), на Урале (*Уфалейское, Прохорово-Баландинское, Нижне-Тагильское*) в Средней Азии и Казахстане (*Газганское, Аркутсайское, Каратау*), Сибири (*Кибик-Кордонское, Базаихское, Буровщина*).

13.15. Карбонатные породы

Общие сведения

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. 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 (обожженная сырьевая смесь) достигались требуемые значения коэффициента насыщения K_H силикатного M_S и глиноземного M_A модулей.

$$K_H = [CaO–(1{,}65Al_2O_3+0{,}35Fe_2O_3+0{,}7SO_3)]/2{,}8SiO_2 \ (K_H = 0{,}8–0{,}92).$$

$$M_S = SiO_2/(A1_2O_3+Fe_2O_3) \ (M_S = 1{,}2–3{,}5).$$

$$M_A = Al_2O_3/Fe_2O_3 \ (M_A = 1{,}0–2{,}5).$$

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 маломагнезиальные карбонатные породы, содержащие не менее 40 % CaO и не более 3,5 % MgO. Для получения клинкера с оптимальными значениями $K_H = 0{,}92$, $M_S = 2{,}50$ и $M_A = 1{,}2$ и общим количеством вредных примесей 3,3 % сырьевая смесь из карбонатных и глинистых пород должна содержать (%): CaO 42,2; SiO_2 14,1; $A1_2O_3$ 3,1; Fe_2O_3 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.

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.

Мировая добыча карбонатных пород составляет около 5 млрд т и осуществляется в наибольших масштабах в СНГ, США, Японии и

Германии. Цена 1 т известняка варьирует от 1 до 3 дол.

Казахстан имеет практически неограниченный потенциал для производства цемента. Общие запасы цементного сырья (известняки, глинистые породы) определяются в млрд. т. По промышленным категориям разведано более 2,0 млрд. т. Основная масса балансовых запасов сосредоточена в 15–20 месторождениях. Наиболее крупные месторождения: *Сарыапак* (запасы 707,8 млн. т), *Астаховское* (350 млн. т известняков и 253 млн. т глин), *Шекубаевское* (268 и 23 млн. т), *Коксорское* (161,6 млн. т), *Агалатасское* (150 млн. т), *Кызылкуртское* (125,5 млн. т), *Аксуатское* (110,5 млн. т – мел), *Новотаубинское* (103,4 млн. т), *Мынаральское* (82,6 и 38,6 млн. т), *Сажаевское* (75,0 млн. т), *Керегетас* (70,6 млн. т), *Кзылжарское* (44,8 и 20,0 млн. т) и др. На территории Казахстана разведано несколько месторождений активных минеральных добавок в портландцемент: витрофира – *Бабеновское* (19,0 млн. т), *Даубабинское* (20,0 млн. т), *Архарлинское* (9 млн. т); опоки и диатомита: *Новоильинское* (25,0 млн. т), *Шиповское* (21,6 млн. т), *Кудукское* (около 20 млн т), *Утесайское* (17,0 млн т) и др.

13.15. 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 СНГ 95 %) добываемых песков и гравия используется в строительной промышленности в качестве заполнителей бетонов, а пески, кроме того, для получения строительных растворов. Особо чистые кварцевые пески применяются в стекольной, керамической, металлургической промышленности, а также в производстве ферросилиция, карбида кремния и т. п.

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/м^3 и размером зерен менее 5 мм, предназначающийся для заполнения бетонов, строительных растворов, строительства железных и автомобильных дорог, должен отвечать требованиям ГОСТа.

По масштабу запасов песчано-гравийные месторождения и месторождения строительных песков разделяют на крупные (соответственно >30 и >15 млн. $м^3$), 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 СНГ – 0,5 млрд. т. В связи с ограниченностью запасов кварцевых песков в качестве их заменителей используются песчаники, кварциты, жильный кварц и др. Разработка песка и гравия производится в карьерах гидромониторами или под водой плавучими землесосными снарядами.

Типы промышленных месторождений

Промышленное значение имеют песчано-гравийные месторождения выветривания и обломочные осадочные.

Аллювиальные песчано-гравийные месторождения широко представлены и разрабатываются во всех районах Казахстана и полностью обеспечивают потребности строительства любых объектов.

В ***Казахстане*** разведано несколько месторождений кварцевых стекольных песков. Наиболее крупные месторождения находятся в Южном Казахстане: *Аральское* (около 18 млн. т), *Калканское* (14 млн. т), *Грунчбулакское* (4,7 млн. т) и др. В Восточном Казахстане (Павлодарское Прииртышье) установлено месторождение *Калкаман* (более 3 млн. т), в Западном Казахстане – *Мугалжарское* (около 8 млн. т). Значительные запасы кварцевых песков, пригодных для производства стекла, учитываются балансом формовочных материалов (месторождения *Мыс Бакланий* – в Призайсанье, *Апановское* в Северном Казахстане и др.).

13.16. Глины и каолины

Общие сведения

Глины – 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.

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.

С учетом свойств и состава глин, обусловливающих их использование, выделяют следующие группы: каолины; огнеупорные и туго-

плавкие; 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 аглопорита (легких заполнителей бетона), кирпича, черепицы, цемента.

Месторождения глин по запасам делятся на крупные (>20 млн. т), средние (5–20) и мелкие (<5). Цена каолина в зависимости от качества варьирует от 1 до 160 $/т.

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

В Казахстане имеется ряд разведанных месторождений *каолина.* Наиболее крупными являются месторождения *Алексеевское* и *Елтайское* в Северном, Союзное в Западном Казахстане. Кроме того, здесь же находятся месторождения *Валентиновское, Сасыкколь, Митрофановское* и др. Общие учтенные запасы каолина по месторождениям значительные. Только по Алексеевскому и Елтайскому балансовые запасы составляют 220 млн. т, забалансовые – более 20 млн. т.

Тугоплавкие глины. Это сырье для производства грубой керамики. В Казахстане выявлены десятки месторождений тугоплавких глин. Часть из них разведана с балансовыми запасами. Основные запасы связаны с месторождениями Центрального, Южного и Восточного Казахстана. В Центральном Казахстане по промышленным категориям разведаны запасы месторождений *Целиноградское* (13,6 млн. т) и *Тонкерис* (2,9 млн. т). Авторские запасы месторождений *Сасыколь* – 4,5 млн. т, *Караджигит* – 2,6 млнт, *Айзан-Томар* – около 10 млн. т.

В Южном Казахстане промышленный интерес представляют ме-

сторождения *Ленгерское* (8,8 т + 9,3 млн. т – забалансовые), *Каскасуское* (18 млн. т – C_2), *Шенгельдинское* (12–14 млн. т), *Коктобинское* и др. Суммарные запасы по региону – более 30 млн. т. В Восточном Казахстане промышленно значимы месторождения *Горностаевское* (3,6 млн. т), *Шагалыкское* (4,7 млн. т), *Митрофанское* (1,4 млн. т), *Ахмировское* (0,5 млн. т, прогнозные – 16 млн. т), *Куйганское* (2,0 млн. т) и др. В Западном Казахстане разведано месторождение *Хромтауское* (2,7 + 6,6 млн. т – C_2).

13.17. Техногенные месторождения

Общие сведения

Техногенным месторождением полезного ископаемого называется геометрическая организация в земной коре отходов горнодобывающих, металлургических, химических и иных предприятии, которые по количеству и качеству пригодны для промышленного использования как вторичное сырье.

Ежегодно в отвалы поступают миллиарды тонн пород вскрыши, отходов обогащения, металлургических шлаков, угольной золы и др. Только в хранилища отходов рудообогащения черных и цветных металлов укладывают ежегодно в мире около 3 млрд. $м^3$ хвостов, при этом на укладку 1 млн. $м^3$ хвостов требуется от 3 до 8 га земли. Размеры земельных отводов (га) крупнейших комбинатов позволяют оценить масштабы нарушения земель: Учялинский ГОК 6900, Полтавский РОК 6080, Михайловский ГОК 4785, Райский ГОК 3380, Лебединский ГОК 2080, Стойленский ГОК 1780.

Для большинства руд цветных металлов она колеблется в пределах 10–25 %, в некоторых случаях повышаясь до 40 %. Кроме того, значительная часть попутных компонентов в руде содержится не в виде самостоятельных минералов, а распределяется между минералами основных металлов и вмещающих пород и часто вместе с ними переходит в те или иные продукты или отходы обогащения.

Отходы горнодобывающих, обогатительных, металлургических предприятий можно рассматривать как с позиции доизвлечения содержащихся в них попутных, реже главных компонентов, так, и их утилизации как строительных материалов или композиционных составляющих последних.

Хвосты обогащения колчеданных руд на Уральских обогатительных фабриках рассматриваются как техногенные месторождения цветных металлов и серы. Например, хвосты Карабашской обогатительной фабрики содержат в среднем серы – 29,64 %, меди – 0,33 %, цинка

– 0,33 %, золота – 1,1 г/т, серебра – 6,6 г/т. В настоящее время разработаны технологии перефлотации пиритсодержащих хвостов большинства Уральских фабрик: *Красноуральской, Среднеуральской, Карабашской, Сибайской, Бурибаевской*; установлена возможность получения высококачественных пиритных концентратов при увеличении серы на 70– 85 %, а из хвостов Красноуральской фабрики еще медного и цинкового концентратов.

Активно ведутся работы по доизвлечению полезных компонентов из отходов и за рубежом. Например, широко практикуется вторичная переработка золотосодержащих (0,25–0,6 г/т) отвалов и хвостов методами кучного и перкаляционного выщелачивания. На крупнейшем в Испании производителе олова и вольфрама руднике Ла-Паррильд проектируется строительство установки по переработке хвостов обогащения с получением концентрата, содержащего 2,5 % олова, 13 % вольфрама и 25 % мышьяка. Первоначальные мощности составят 70, а в дальнейшем могут быть доведены до 250 т хвостов в час.

В естественном виде либо после переработки с целью доизвлечения компонентов или удаления токсичных элементов и их соединений отходы горнодобывающих, обогатительных и металлургических предприятий применяют также в качестве строительных материалов, сырья для производства кирпича, силикатного бетона, облицовочных материалов, портландцемента, закладочного материала, сырья для стекольного и керамического производства и др.

Во многих горнодобывающих странах мира скопились огромные запасы отходов. Например, на Кольском полуострове во вскрышные отвалы ежегодно поступает до 170 млн. т породы, а на Урале – только вскрышных пород железорудных месторождений – более 160 млн. т ежегодно. По различным оценкам примерно 67 % вскрышных пород железорудных месторождений СНГ пригодны для производства различных строительных материалов, причем, наибольшая доля приходится на щебень (30 %), цемент (24 %) и керамические стеновые материалы (16 %). Некоторые горно-обогатительные предприятия Казахстана уже имеют опыт промышленного использования пород вскрыши для производства строительных материалов, например, на отвальных породах и хвостохранилищах Белогорского ГОК, Соколово-Сарбайского ГОК, Карсакпайского медеплавильного завода и др. Однако рост использования отходов обогатительных фабрик сдерживается наличием в них металлов, хотя и в незначительных концентрациях, но уже доступных для извлечения с определенным экономическим эффектом, т.е. использовать для строительных и других подобных целей можно лишь те отходы, которые не содержат ценных металлов, в

противном случае они подлежат хранению. В силу этого отвальные хвосты фабрик используются крайне ограничено. Так, в 1989 г. доля использования хвостов на предприятиях медной подотрасли страны составила лишь 1,7 % объема образования хвостов. Несколько лучше дела в железорудной подотрасли, объем утилизации отходов составляет около 15 %.

Причины незначительного использования отходов рудообогащения – незаинтересованность строительных организаций в их использовании и слабая изученность возможности утилизации тонких фракций (менее 0,14 мм), содержащихся в хвостах в значительных количествах. Хвосты обогащения крупных фракций горно-обогатительные комбинаты используют в основном для намыва дамб и плотин хвостохранилищ и повторного обогащения более глубокими методами с целью доизвлечения полезных компонентов.

Не менее остро стоит проблема утилизации отходов металлургического передела. Только с доменными шлаками в США теряется до 0,9 % производимого чугуна, что составляет примерно до 900 тыс. т/год. По различным данным, потребление стали в мире к 2005 г. составит 1,7–1,9 млрд. т. Доля конвертерного передела достигнет 60–92 %. По экономическим оценкам одна тонна отходов стали, пущенная в оборот, может заменить 2 т железной руды, 600 кг кокса и 350 кг флюсов.

В отличие от шлаков доменных печей шлак кислородных конвертеров не представляет большой ценности и его повторное использование в доменных печах весьма ограничено из-за значительного содержания вредных примесей. В то же время высокое содержание в нем железа (до 13–15 %) обусловливает необходимость его выделения и использования. В настоящее время из шлаков металлургических производств извлекается 1,7–2 млн т. железа.

Экономичность утилизации отходов горно-обогатительного и металлургических производств определяется: химическим и вещественным составом отходов (ценными, попутными и токсичными компонентами); технологической возможностью доизвлечения полезных компонентов, либо возможностью использования отходов (отдельных их фракций) в стройиндустрии; потребностью региона в данной дополнительной продукции.

Складирование промышленных отходов оказывает негативное воздействие на окружающую среду по нескольким направлениям: нарушение и изъятие земель из хозяйственного использования; загрязнение водных источников и нарушение гидробаланса (особенно при возведении хвостохранилищ); загрязнение атмосферы. Поэтому вовлечение в эксплуатацию

техногенных месторождений имеет не только практическое промышленное (экономическое) значение, но и экологическое.

Типы техногенных месторождений

Отходы промышленного производства являются результатом несовершенства ряда технологических процессов, разработки, обогащения или металлургического передела полезного ископаемого. В силу направленности настоящего учебника рассматриваются лишь некоторые типы промышленных отходов: отходы горнодобывающих предприятий; отходы обогатительных фабрик, металлургические шлаки и золы топлива, отходы химической переработки сырья.

Отходы горнодобывающих предприятий – вскрышные породы. В зависимости от вещественного состава их можно использовать для производства различных видов строительных материалов. Чаще всего они применяются в качестве щебня – крупного заполнителя бетонов, балласта железнодорожных путей и др.

Отходы обогатительных фабрик подразделяются на отходы обогащения руд и отходы обогащения каменных углей. Первые образуют огромные объемы хвостов обогащения, вторые представлены горелыми и негорелыми породами. Благоприятный вещественный и гранулометрический состав хвостов обогащения позволяет успешно применять их в качестве заменителя естественных кварцевых песков, в производстве силикатных стеновых и облицовочных материалов автоклавного твердения, стеклянной тары, асфальтобетонных смесей, строительных растворов, бетонов и др.

Металлургические шлаки образуются при доменной плавке железных руд. Пустая порода сплавляется с золой кокса, образуя силикатный расплав – доменный шлак. Шлаки образуют также при плавке руд и концентратов цветных металлов.

Золы топлива образуются при сгорании горючих составляющих твердого топлива в топках энергетических установок Шлаки и золы используются в основном для производства различных видов цемента, вяжущих материалов, минеральной ваты, каменного литья.

Отходы химической переработки сырья – результат гидрометаллургической и химической обработки полезных ископаемых. При этом образуются значительные количества производственных отходов: кеков, шламов и др. Эти отходы можно использовать для получения специальных видов цементов как добавки при производстве кирпича, черепицы и др.

Однако, следует подчеркнуть, что проблема утилизации отходов горно-обогатительных комбинатов в промышленных масштабах практически не решена. Этому препятствует ряд причин: отсутствие стан-

дартов на различные виды отходов, ведомственный подход к учету отходов, нет государственной концепции складирования и использования отходов в масштабе страны.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие полезные ископаемые относятся к группе неметаллических?
2. В чем состоят особенности оценки качества неметаллических полезных ископаемых?
3. Дайте классификацию неметаллических полезных ископаемых по основным направлениям их промышленного применения.
4. Как классифицируются драгоценные, поделочные и технические камни? Какие показатели определяют их качество?
5. Какие свойства графита определяют направления его промышленного использования?
6. В каких областях промышленности применяются минералы группы слюд?
7. Дайте характеристику геологических условий месторождений Мамско-Чуйской группы гранитных пегматитов.
8. Какие свойства асбестовых минералов определяют их промышленное значение?
9. Какие требования к качеству талькового сырья установлены промышленностью?
10. В каких областях промышленности применяется флюорит?
11. Каковы основные направления промышленного использования магнезита и брусита?
12. Какими показателями определяются требования промышленности к данному виду минерального сырья?
13. Какие свойства обусловливают направления промышленного использования цеолитов, какими особенностями строения данной группы минералов определяются эти свойства?
14. Что такое минеральные соли? Назовите главные промышленные минералы данного вида минерального сырья.
15. Каковы основные направления промышленного использования каменных и калийных солей?
16. На какие группы делятся месторождения ископаемых солей по особенностям тектонической структуры и условиям залегания? Приведите примеры месторождений каждой из этих групп.
17. Что представляют собой современные соляные месторождения, где они распространены?

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

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

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

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

22. Дайте характеристику горно-геологических условий месторождений фосфоритов Каратауской группы.

23. Назовите главные формы нахождения серы в земной коре. Какие из них имеют основное промышленное значение?

24. Какие отрасли промышленности и сельского хозяйства являются основными потребителями серы?

25. Каковы масштабы месторождений самородной серы, какими способами они разрабатываются?

26. Какими специфическим свойствами кремнистых пород обусловлено их промышленное использование? Укажите основные области их применения.

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

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

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

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

31. Что такое глины? Перечислите основные глинистые минералы. Какие глины называют каолинами?

32. Перечислите специфические свойства глин. Укажите основные направления их использования.

33. Что такое техногенные месторождения, причины их образования и возможности использования, примеры таких месторождений?

14. ТВЕРДЫЕ ГОРЮЧИЕ ИСКОПАЕМЫЕ

14.1. Общие сведения

Горючие ископаемые разделяются на твердые (торф, ископаемый уголь, горючие сланцы), жидкие (нефть) и газообразные (горючие газы). Они нередко объединяются под общим термином «каустобиолиты», происходящим от греческих корней «каустос» – горючий, «биос» – жизнь и «литос» – камень. Однако нефть и газы не камни, поэтому более правильным следует считать наименование «горючие ископаемые».

Горючие ископаемые имеют огромное экономическое 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 %. Топливно-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 XX в. по сравнению с 1950 г. увеличился в 2 раза (в СНГ 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 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, золы (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
Высшая удельная теплота сгорания по бомбе, кДж/кг	Q_s^{daf}
Низшая уд. теплота сгорания рабочего топлива, кДж/кг	Q_i^r
Выход летучих веществ из сухого беззольного, %	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 иммерс. масле,	R_o
Выход смолы полукоксования, безводной, %.	T_s^k
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 грибков. 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), наличием сахаров и целлюлозы. Концентрация отдельных компонентов в торфе такова (%): углерода C^{daf} 50–60; водорода H^{daf} – 4,5–6,5; азота N^{daf} – 0,8–2,9; кислорода O^{daf} – 31–40; серы S^{daf}_{t} – 0,1–1,5. Теплота сгорания торфа Q^{r}_{i} не превышает 9,1 МДж (2200 ккал/кг). По этому показателю он занимает промежуточное положение между древесиной и бурым углем.

Но в настоящее время торф в основном используется не как топливо, а 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 (зола), содержание которых изменяется от 1–2 до 50 %. Горючие осадочные образования, содержащие более 50 % минеральных веществ, относятся к углистым породам или горючим сланцам.

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. Гумусо-сапропелевые угли также встречаются достаточно редко и, вследствие этого, имеют 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 аридному и, наоборот, эволюционировал растительный и животный мир.

14.2. Основные показатели качества, состава и свойств углей

Состав угля

Петрографический состав. При макроскопическом изучении углей выделяют (в основном по блеску) *макротипы* или *литотипы* (табл. 14.1), а также их разновидности. Для этого используют форму, размер и характер чередования отдельных линз и слойков угля, отличающихся по блеску, трещиноватости и рельефу поверхности излома.

Таблица 14.1

Визуально различимые составные части угля

Литотип	Признаки выделения разновидностей литотипов	Участие в сложении угольных пластов
Литотипы сложного состава		
Блестящий – *кларен* Полублестящий – *дюрено-кларен* Полуматовый – *кларено-дюрен* Матовый – *дюрен*	Однородный, монолитный, землистый. Слойчатый, линзовидно-слойчатый (при мощности отдельных слойков и линз > 2 мм), тонкослойчатый (при мощности < 2 мм)	Образуют пласты или пачки угля; в пределах последних нередко переслаиваются друг с другом
Литотипы простого состава		
Витрен	Монолитный, однородный	Широко встречается в пластах угля в виде прослоев и линз мощностью от n·0,1 мм до 3 см
Фюзен	Волокнистый, сажистый, однородный, минерализованный	Слагает линзы мощностью от n·0,1 до 3 мм, редко отдельный прослои в пластах угля

К отдельному литотипу относят слои угля мощностью не менее 20 мм. При определении принадлежности угля к тому или другому литотипу принимают во внимание степень его метаморфизма, так как при увеличении последнего блеск угля непрерывно возрастает. Один и

тот же литотип на стадии 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

В процессе метаморфизма угля увеличивается не только интенсивность блеска (точнее – отражательная способность витрена), но и его характер. У бурого угля блеск витрена тусклый или смоляной. У каменного он изменяется от жирного до стеклянного. Антрацитам присущ металлический блеск.

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.

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

Эволюция наземной растительности и определенные различия условий углеобразования в отдельные геологические периоды привели к формированию углей разного петрографического состава. Так, девонские угли представлены преимущественно кутикуловыми липтобиолитами (Барзасское месторождение). Для нижнекарбоновых характерно наличие массивных оболочек макро- и микроспор. Содержание липтинита в них часто достигает 20–35 %, а витринита – редко превышает 50–65 % (Кизеловский, Донецкий и Подмосковный бассейны). Нередко в них встречаются прослои и линзы гумусово-сапропелевых и сапропелевых углей (Подмосковный и Львовско-Волынский бассейны). В последующие периоды исходный материал обстановки угленакопления становится все более разнообразным.

В среднем и позднем карбоне произошло обособление двух раз-

личных 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 (Карагандинский, Кузнецкий, Тунгусский бассейны).

Образование раннепермских углей происходило в основном за счет древесины кордаитов и протекало в ряде случаев в условиях слабообводненных лесных торфяников, что привело к интенсивной фюзенизации растительных тканей. Содержание инертинита в них нередко достигает 50–60 % (Кузнецкий и Тунгусский бассейны). Наименьшее содержание инертинита свойственно раннепермским углям Печорского бассейна. Разнообразен петрографический состав углей пермского возраста Монголии, Индии, КНР и Австралии.

Позднепермские угли существенно отличаются по исходному материалу и условиям накопления от раннепермских. В них преобладает витринит, образовавшийся из стеблевых и, что особенно характерно, лиственных 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 лиственных 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 Казахстана, 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).

Элементный состав. Под элементным составом в химии угля понимают содержание основных элементов – углерода, водорода, кислорода, азота и органической серы – в его органической части. Образуя сложные 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 – от 3,5 до 6 % и в антрацитах – от 1,3 до 3 % и существенно зависит от их петрографического состава: увеличивается с ростом количества липтинита и уменьшается в фюзинитовых разностях. Максимальная концентрация водорода (до 7,5–10,5 %) отмечается в сапропелитовых углях.

Содержание кислорода в углях следующее (%): в 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 СНГ, отличаются преимущественно высокой сернистостью (>1,5%); в частности в углях отдельных бассейнов ее количество варьирует в следующих пределах (%): Днепровском – 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 и снижает его качество.

Фосфор в углях, так же как и сера, является вредной примесью. Его концентрация редко превышает сотые доли процента, однако в некоторых случаях даже при содержании 0,02 % угли не могут применяться для получения специальных сортов металлургического кокса. Угли Донбасса обыч-

но 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 (Днепропетровский и Южно-Уральский бассейны). Битумы из углей извлекают бензолом или бензином. В битумах, извлеченных бензином из углей Днепропетровского бассейна, концентрация восков изменяется от 70 до 83 %, а смол – от 17 до 30 %. В битумах, полученных из углей Южно-Уральского бассейна, колическтво 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, которое позволяет раздельно оценивать сложность состава и степень метаморфизма углей, открыло большие возможности для прогноза их различных свойств по результатам лабораторных исследований. Углепетрографические 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. Основным показателем оптических свойств углей, нашедшим широкое применение для оценки их метаморфизма является отражательная способность витринита. Числовое значение отражательной способности *Ro* (%) 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 микроско-

пом. Наибольшее значение *Ro* 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 *Ro* или воздушной среде *Ra* разработана шкала метаморфизма углей (табл. 14.2).

Физико-механические свойства углей, такие как прочность, трещиноватость, метаноемкость, выбросоопасность, наряду с другими факторами (мощность, угол падения угольных пластов и пр.), обусловливают 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. С прочностью углей в пластах связано также такое явление, как внезапные выбросы газа и пыли в шахтах. Установлено, что при прочности угля в пласте свыше 1,96 усл. ед. (по шкале М.М.Протодьяконова) пласт можно отнести к невыбросоопасным.

Таблица 14.2

Отражательная способность витринита, находящегося на различных стадиях углеобразовательного процесса

Уголь	Стадия	*Ro,%*	10 *Ra,* усл. ед.
Бурый	0_1	<0,26	<58
	0_2	0,26–0,41	58–66
	0_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

Влияние петрографического состава на прочностные свойства углей при их добыче, транспортировании и переработке обусловливается 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.

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/мм^2, в каменных 300–500 Н/мм^2, а в антрацитах – до 2000 Н/мм^2.

Плотность d – масса единицы объема угля (кг/м^3, г/см^3) без учета пор и трещин. Плотность углей в процессе их метаморфизма сначала постепенно снижается и приобретает минимальное значение (1,27–1,28 г/см^3) при содержании углерода в угле 85– 87 %. Затем она повышается, достигая максимума (1,5–1,8 г/см^3) 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, наибольшую плотностью (1,48–1,50 г/см^3) обладает инертинит, наименьшей (1,12–1,18 г/см^3) – липтинит.

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

На самовозгорание углей также оказывает большое воздействие и степень их метаморфизма. В общем случае, чем ниже стадия метаморфизма угля, тем большую склонность он имеет к самовозгоранию.

Исследование петрографического состава углей, различных по стадии метаморфизма и самовозгораемости, показало, что с увеличением содержания в них инертинита склонность угля к самовозгоранию повышается. Возможно, это обусловлено неодинаковыми сорбцион-

ными свойствами витринита и инертинита – фюзинита I_f.

Для оценки зависимости пожароопасности шахт от горно-геологических факторов Г.Е. Иванченко с соавторами обработали статистические данные об эндогенных пожарах, происходивших на шахтах Карагандинского бассейна. В качестве показателя пожароопасности шахты они использовали частоту пожаров Q_1 в период эксплуатации данной шахты. Было установлено, что из всех рассмотренных факторов наибольшее влияние оказывал такой, как содержание фюзинита (инертинита) в угле:

$$Q_1 = H(AF^2+B), \qquad (14.1)$$

где H – мощность угольного пласта, м; F – содержание фюзинита (инертинита), % (по объему); A и B – некоторые постоянные, которые для Карагандинского бассейна имеют следующие значения: A = 0,44; B = 0,014.

Пожароопасность угольных пластов, несомненно, связана со склонностью слагающих 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

$$S = 4{,}73 + 0{,}73\,P. \qquad (14.2)$$

Петрографический состав углей влияет также на количество поглощаемого кислорода и выделяющихся при окислении угля (при t=200°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, коксуемости 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. определяются только влажность и зольность угля.

Результаты технического анализа позволяют установить следующие параметры и показатели:

1) марки и технологические группы углей отдельных шахтопластов в процессе геологоразведочных работ на основе принятых для данного бассейна классификационных параметров;

2) наиболее рациональные направления применения твердых горючих ископаемых в народном хозяйстве;

3) соответствие нормам качественных характеристик добываемого и отгружаемого потребителям топлива;

4) закономерности изменения отдельных показателей качества углей и горючих сланцев в условиях естественного залегания в пределах шахтных полей и месторождений;

5) изменения качественных характеристик углей и горючих сланцев в процессе разработки и в результате обогащения.

Влажность. В угле выделяются несколько разновидностей влаги: поверхностная, общая (состоящая из внешней влаги и влаги воздушно-сухого угля), пирогенетическая и гидратная.

Поверхностная влага находится на внешней поверхности частиц измельченного при добыче угля и свободно стекает при его хранении и транспортировке.

Общая влага выделяется из угля при высушивании его до постоянной массы при температуре 105–110°С. Внешняя влага представляет собой ту ее часть, которая испаряется из измельченного угля при высушивании его в лабораторных условиях до воздушно-сухого состояния, а влага воздушно-сухого угля – ту, которая остается в угле после доведения его до воздушно-сухого состояния.

Пирогенетическая влага образуется при термической деструкции органических веществ, слагающих уголь.

Гидратной называется влага, входящая в состав минеральных примесей.

Общая влага рабочей массы W_i^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 окис-

ления 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, 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.

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.

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. Показатель изменяется при метаморфизме угля (табл. 14.3).

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.

Таблица 14.3

Изменение состава гумусовых углей и высшей удельной теплоты их на различных стадиях метаморфизма

Стадия метаморфизма	C^{daf},%	H^{daf},%	O^{daf},%	N^{daf},%	Q^{daf}, мДж/кг
01	63–71	4,4–6,3	20–28	0,7–1,0	25,3–28,9
02	65–76	4,1–5,3	17–24	0,1–1,2	25,5–29,7
03	68–77	4,0–5,8	16–22	1–1,4	27,6–32,6
I	74–80	5,1–5,7	12–16	1–2,5	30,6–33,5
II	79–83	5,2–5,9	8–12	1,3–2,5	32,2–34,7
III	83–87	5,0–5,6	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	1–2,5	34,5–36,2
VII–VIII	90–95	1,8–3,7	1–2	1–1,5	35,1–35,6
IX–X	94–97	1–2	до 1	до 1	33,5–33,9

Первое представление о спекаемости может дать характер нелетучего коксового остатка – королька, полученного в тигле при определении выхода летучих веществ.

По внешнему виду и прочности различают порошкообразный, слипшийся (при легком нажиме рассыпается в порошок), слабоспекшийся (при легком нажиме пальцем раскалывается на отдельные кусочки), спекшийся несплавленный (для раскалывания на отдельные кусочки необходимо приложить усилие), сплавленный невспученный (плоская лепешка с серебристым блеском поверхности) и сплавленный вспученный (вспученный нелетучий остаток с серебристым металлическим блеском поверхности) королек.

Нелетучий остаток бурых углей и антрацитов – неспекшийся по-

рошкообразный 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 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 петрографического состава (рис. 14.1) и имеет максимальные значения в витринитовых углях на III стадии метаморфизма (*Ro* = 0,86–1,00).

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

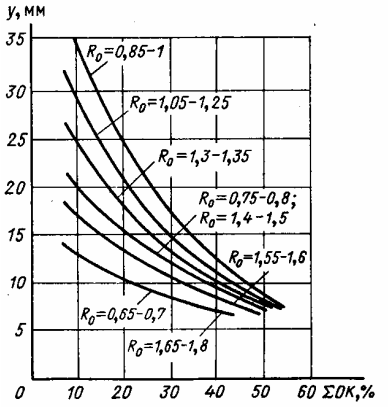


Рис. 14.1. Изменение толщины пластического слоя в зависимости от содержания отощающих компонентов (Σ *OK* = I_f + *2/3Sv*) в углях различных стадий метаморфизма

Оценивается коксуемость прямыми и косвенными методами. *Прямые методы* предусматривают коксование испытуемого угля или смеси углей (шихты) в лабораторных или полузаводских условиях с последующим изучением физико-механических свойств полученного

кокса. В лабораторных условиях исследуются пробы массой 3 кг (ГОСТ 9521–74), а в полузаводских – массой 50 кг (опытное коксование проводится в металлических ящиках, помещаемых в коксовые печи) или 200–300 кг (в небольших коксовых печах). При этом определяются две характеристики – дробимость кокса М40 и истираемость – М10. При испытании кокса в большом барабане (Сундгрена) устанавливают его остаток в барабане после 150 оборотов и содержание мелочи (<10 мм) в провале.

Качество кокса находится в тесной зависимости от петрографического состава и степени метаморфизма угля.

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

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

При выявлении гранулометрического состава уголь рассеивается на ситах с круглыми отверстиями диаметром 150, 100 и 50 мм и с квадратными отверстиями размером 25х25, 6х6, 1х1 и 0,5х0,5 мм. Фракционный анализ выполняют путем расслоения проб углей на отдельные классы в тяжелых жидкостях плотностью 1,3, 1,4, 1,5, 1,6 и 1,8 г/см^3 (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/см^3, выраженному в процентах и отнесенному к беспородной массе (с плотностью менее 1,8 г/см^3).

Уголь различных категорий обогатимости характеризуется следующим выходом промежуточных фракций (%): 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 Екибастузского бассейнов.

14.3. 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. Они базировались главным образом на различиях углей, обусловленных их неодинаковым метаморфизмом. Так, по содержанию естественной влаги (%) бурые угли подразделялись на следующие технологические группы: Б1 – более 40; Б2 – 30–40; Б3 – менее 30.

В качестве классификационных параметров каменных углей использовались выход летучих веществ V^{daf} и спекаемость, выражаемая толщиной пластического слоя *y,* индексом свободного вспучивания, индексом Рога R_l, характеристикой нелетучего остатка и т.п. В течение длительного времени в СНГ каменные угли разделялись на девять технологических марок: длиннопламенные Д, газовые Г, газовые жирные ГЖ, жирные Ж, коксовые жирные КЖ, коксовые К, коксовые вторые К2, отощенные спекающиеся ОС и тощие Т. Для углей некоторых бассейнов (Кузнецкого, Южно-Якутского) дополнительно выделялась марка слабоспекающихся углей СС. По выходу летучих веществ угли этой марки соответствуют углям марок ГЖ, Ж, КЖ и К, но обладают очень низкой спекаемостью (вследствие особенностей петрографического состава или окисленности).

Угли марок Г, Ж, К и ОС в ряде бассейнов дополнительно разделялись на технологические группы (Г6, Г16, Г17, 1Ж26, 2Ж26, Ж13, Ж21 и т.д.), где цифра у буквенного обозначения марки указывает наименьшую величину толщины пластического слоя для углей данной технологической группы.

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 пара-

метры 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 *Ro* (%), а петрографический состав выражен содержанием (%) 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 параметры:

1) для бурых углей – максимальная влагоемкость на беззольное состояние W^{af}_{max} и выход смолы полукоксования на сухое беззольное состояние T^{daf}_{sk};

2) для каменных углей – выход летучих веществ на сухое беззольное состояние V^{daf}, толщина пластического слоя y и индекс Рога R_I;

3) для антрацитов – объемный выход летучих веществ на сухое беззольное состояние $V^{daf}_{об}$ и анизотропия отражения витринита A_R;

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

При геологоразведочных работах каждый угольный пласт опробовается. Для каждой пробы изучается петрографический состав,

проводится элементный, групповой и технический анализы с целью выявления химического состава углей и значений основных показателей их состава – R_0, A, W, V, y, Q и др.

Определение классификационных параметров должно проводиться в соответствии с государственными стандартами:

1) показатель отражения витринита R_0 – ГОСТ 12113–83;

2) содержание фюзенизированных компонентов на чистый уголь ΣOK – ГОСТ 9414–74 и ГОСТ 12112–78;

3) максимальная влагоемкость на беззольное состояние для бурых углей W^{af}_{max} – ГОСТ 7303–77;

4) выход смолы полукоксования на сухое беззольное состояние T_{sk}^{daf} – ГОСТ 3168–87;

5) индекс Рога R_l – ГОСТ 9318–79;

6) анизотропия отражения витринита A_R – ГОСТ 12113–83.

Ископаемые угли в зависимости от значения величины среднего показателя, отражения витринита R_0 , теплоты сгорания на влажное беззольное состояние Q^{af}_s и выхода летучих веществ на сухое беззольное состояние V^{daf} разделяются на следующие виды: бурые, каменные и антрациты (табл. 14.4).

В свою очередь, угли бурые, каменные и антрациты в зависимости от генетических особенностей подразделяются на классы, категории, типы и подтипы.

Классы каменных углей выделяются по среднему показателю отражения витринита R_0 в масляной иммерсии в соответствии с табл. 14.4 (всего 50 классов).

Таблица 14.4

Виды ископаемых углей (составлено на основе ГОСТа 25543–88)

Вид угля	R_0, %	Q^{af}_s, мДж/кг	Выход летучих веществ на сухое беззольное состояние V^{daf}, %
Бурый	Менее 0,60	Менее 24	–
Каменный	От 0,40 до 2,59	24 и более	8 и более
	Включительно	–	
Антрацит	2,2 и более		менее 8

Категории выделяются по содержанию фюзенизированных компонентов на чистый уголь, т. е. $\Sigma OK = F + 2/3Sv$ на 8 категорий (0–7).

Основание для выделения *типов* в различных видах угля – бурых, каменных и антрацитах различно. *Бурые угли* разделяются на 6 типов по максимальной влагоемкости на беззольное состояние, т. е. W^{af}_{max}. *Каменные угли* разделяются на 21 тип по выходу летучих веществ на сухое беззольное состояние V^{daf}. *Антрациты* разделяются на

4 типа по объемному выходу летучих веществ на сухое беззольное состояние V_{st}^{daf}.

Аналогичным образом каждый вид угля подразделяется на *подтипы* – 4 подтипа для бурых, 23 подтипа для каменных, 6 подтипов для антрацитов. *Бурые угли* подразделяются на 4 подтипа по выходу смолы полукоксования на сухое беззольное состояние T_{sr}^{daf}. *Каменные угли* разделяются на 23 подтипа по толщине пластического слоя *y* и индексу Рога, *антрациты* разделяются на 6 подтипов по величине анизотропии отражения A_R.

В зависимости от технологических свойств ископаемые угли объединяются в технологические марки, которые в свою очередь включают группы и подгруппы. Всего выделяется 17 марок. Бурые угли относятся к одной марке – Б. Каменные угли относятся к 15 маркам – 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. Антрациты относятся к одной марке А.

В то же время бурые угли разделяются на 3 группы, каменные на 21 группу, а антрациты на 3 группы. Аналогичным образом, среди бурых углей установлено 4 подгруппы. Каменные угли разделяются на 34 подгруппы, а антрациты на 6 подгрупп (марочный состав ископаемых улгей, ГОСТ 25543–88).

Международная система кодификации ископаемых углей

В Европе в настоящее время действует международная система кодификации, принятая Комитетом ЕЭК по углю в 1987 г. и утвержденная Европейской экономической комиссией в 1988 г. Она заменяет классификационную систему 1956 г.

Угли принято делить по рангам, выделяются угли низкого, среднего и высокого рангов. Угли низкого ранга соответствуют отечественным бурым углям. Угли среднего ранга – отечественным каменным углям, а угли высокого ранга – отечественным антрацитам. Принятая кодификация ориентирована на характеристику углей среднего и высокого рангов.

В основу кодификации положена система из 8 параметров, которые с одной стороны достаточно полно характеризуют специфические особенности углей, а с другой стороны являются относительно простыми и могут быть легко и просто определены в достаточно оснащенной лаборатории. Такими показателями являются:

1) отражательная способность витринита;

2) рефлектограмма витринита, т.е. содержание в угле витринитов с различной отражательной способностью;

3) мацеральный (микрокомпонентный) состав угля;

4) индекс свободного вспучивания – характеристика спекаемости угля при скоростном нагреве, оцениваемая по форме королька;

5) выход летучих веществ;

6) зольность;

7) общее содержание серы;

8) высшая теплота сгорания.

Углями более высокого ранга (т.е. среднего и высокого) считаются:

1) угли с высшей теплотой сгорания (на влажное беззольное состояние) равной или превышающей 24 мДж/кг;

2) угли с высшей теплотой сгорания (на влажное беззольное состояние) менее 24 мДж/кг при условии, что средний показатель отражения витринита равен или превышает 0,6 %.

В системе кодификации углей среднего и высокого рангов для характеристики углей используется 14 значный код, основанный на перечисленных выше 8 параметрах угля, которые позволяют получить информацию о ранге, типе и марке угля:

a) средний показатель отражения витринита (%) – две цифры;

b) характеристика рефлектограммы – одна цифра;

c) характеристика мацерального состава – две цифры;

d) индекс свободного вспучивания – одна цифра;

e) выход летучих веществ на сухое беззольное состояние – две цифры;

f) зольность, сухое состояние (% к массе) – две цифры;

q) общее содержание серы, сухое состояние (% к массе) – две цифры;

h) высшая теплота сгорания на сухое беззольное состояние (мДж/кг) –две цифры (табл. 14.5).

Таблица 14.5

Пример кодирования углей

Параметр	Значение	Код
a) средний показатель отражения витринита (%)	1,23	12
b) характеристика рефлектограммы	S=0,16	1
c) мацеральный состав (% к объему):	Без разрывов	1
- инертинит	16	2
- липтинит	7	12
d) индекс свободного вспучивания	8	8
e) выход летучих веществ на сухое беззольное состояние, %	28	28
f) зольность, сухое состояние (% к массе)	75	07
q) общее содержание серы, сухое состояние, %	0,76	07
h) высшая теплота сгорания на сухое беззольное состояние, мДж/кг	35,9	35

Номер кода: 121128070735

Если один из параметров отсутствует, например, для антрацитов не указывается индекс вспучивания, то в соответствующем месте кода вместо шестой цифры ставится значок «х». Если параметр обозначается двумя цифрами, то ставится значок «хх».

Основные геологические факторы, определяющие качество товарной угольной продукции

Знание и понимание особенностей геологических факторов, обусловливающих то или другое качество товарной продукции является одной из первоочередных задач, возникающих перед горным инженером-технологом на всех этапах освоения и эксплуатации угольных месторождений. Без знания и учета этих факторов возникают трудноразрешимые проблемы с обеспечением стабильности качества товарного угля, отгружаемого с горных предприятий.

В рыночных условиях обеспечение стабильности качества товарной угольной продукции, отгружаемой потребителям с шахт, разрезов и обогатительных фабрик, является одним из ключевых вопросов горного производства.

К основным природным факторам, определяющим качество товарной угольной продукции относятся; метаморфизм, петрографический состав и степень восстановленности органических веществ, слагающих угольные пласты; содержание, состав и характер распределения в угле минеральных компонентов, вредных и токсичных примесей; мощность, строение, условия залегания и степень нарушенности угольных пластов.

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.

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, отсевы (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^r, 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.

14.4. Морфология угольных пластов

Угольным пластом называется геологическое тело, сложенное угольным веществом, распространенное на значительной площади и заключенное между приблизительно параллельными поверхностями напластования горных пород.

Порода, непосредственно подстилающая угольный пласт, является его *почвой (подошвой),* а покрывающая – *кровлей.* В ряде случаев вследствие специфичности условий накопления органического вещества или в результате эпигенетических факторов (размыв, тектонические дислокации и 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. 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 от-

дельных 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. 14.2).

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 Екибастузском месторождении в мощных угольных пластах насчитываются десятки, а иногда и сотни породных прослоев.

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.

Мощность прослоя пород, м	Колонка	Мощность угольных пачек, м	W^a, %	A^a, %	V^{daf}, %	S^d_t, %	y, 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

1 2 3 4

Рис. 14.2. Детальная характеристика состава и свойств угольных пачек одного из пластов: *Литотипы угля: 1* – блестящий, *2* – полублестящий, *3* – полуматовый; *4* – углистый аргиллит

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.

При разработке мощных пластов угля выделяются *эксплуатационные слои* – части пласта определенной мощности, вынимаемые раздельно. Эксплуатационный слой может быть частью одной угольной пачки или включать несколько пачек.

По мощности в практике разведки и эксплуатации принято разделять угольные пласты на пять групп: 1) весьма тонкие – до 0,5 м; 2) тонкие – от 0,5 до 1,3 м; 3) средней мощности – от 1,35 до 3,5 м; 4) мощные – от 3,55 до 15 м; 5) весьма мощные – более 15 м.

По мощности и зольности среди угольных пластов различают рабочие и нерабочие.

Рабочим угольным пластом следует называть такой комплекс угольных пачек (или одну пачку) и прослоев пород, который имеет средневзвешенную зольность не выше, а суммарную мощность угольных пачек не ниже установленных кондициями для балансовых запасов по данному месторождению. *Нерабочим пластом* считается такой, который не удовлетворяет требованиям кондиций по мощности и зольности.

В зависимости от угла падения различают пологие (углы падения до 18°), наклонные (19–35°), крутонаклонные (36–55°) и крутые (56–90°) угольные пласты.

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 обу-

словлено присутствием остатков корневой системы растений, пронизывающих почву в различных направлениях, сохранность которых неодинакова. Нередко по остаткам корней развивается процесс сидеритизации, в результате чего возникают конкреции довольно причудливой формы. Из-за комковатого строения породы почвы получили у шахтеров название «кучерявчик».

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.

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. *Эпигенетические* возникают непосредственно в период накопления растительных остатков, формирующих угольные пласты, на торфяной стадии процесса углеобразования, нередко до покрытия торфяника минеральными осадками. К *сингенетическим* нарушениям относятся неровности почвы угольных пластов (рис. 14.3).

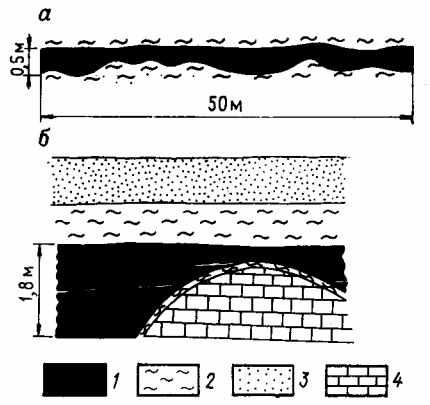


Рис. 14.3. Изменение мощности пластов вследствие неровности дна торфяника в Донецком (*а*) и Подмосковном *(б)* бассейнах: *1* – уголь; *2* – глина (аргиллит); *3* – песок; *4* – известняк

К этому же типу нарушений принадлежат расщепления (рис. 14.4), 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 обусловливает расщепление, а нередко и выклинивание угольных пластов

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 отложении, имеющих сложную конфигурацию. Сингенетичные угольному пласту размывы, как правило, не выходят за пределы почвы и кровли.

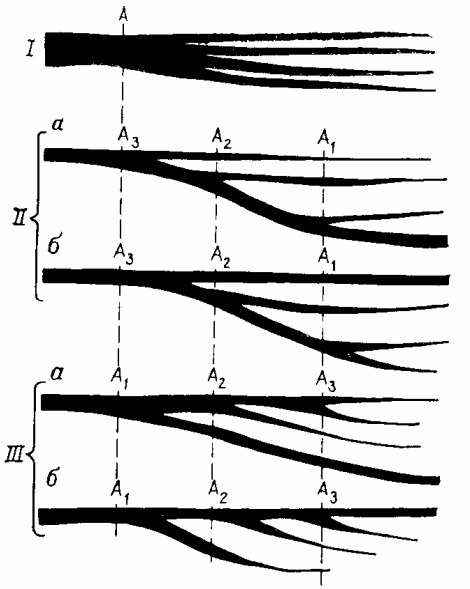


Рис. 14.4. Типы расщепления пластов угля (по *Г.А.Иванову):*
I – расходящийся пучок (тип «конского хвоста»),
// – трансгрессивное:
а – выше, *б* – ниже основного пласта;
/// – регрессивное:
а – выше, *б* – ниже основного пласта (A_1–A_3 – пункты расщепления пластов; *А* – участок устойчивого угленакопления)

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 линзовид-

ной 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.

В некоторых случаях хемогенные минерализованные слои (конкреции) типа угольных почек и стволы окаменевших деревьев встречаются в кровле пластов. 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.

Таблица 14.6

Классификация размывов угольных пластов
(по *П.В. Васильеву* с изменениями)

Размывы	Группа	Тип	Часть угленосной толщи, подвергавшаяся размыву
Овражно-речные	Сингенетические	I	Угольный пласт
		II	Угольный пласт и кровля
		III	Угольный пласт и все покрывшие его отложения
	Эпигенетические		углесодержащей свиты
Морские	Сингенетические	IV	Поверхностная часть угольного пласта (впадины и удлиненные котлованы) Угольный пласт на отдельных участках (площадной смыв)
		V	

Размывы подразделяются на *сингенетические* и *эпигенетические* (табл. 14.6). Первые довольно широко распространены в большинстве угольных бассейнов, вторые отмечаются значительно реже. Те и другие размывы обычно имеют локальный характер развития. Иногда они захватывают большие площади, полностью или частично уничтожая угольные пласты вместе с перекрывающими породами. Такие размывы существенно усложняют отработку угля и управление кровлей вследствие резкой изменчивости ее литологического состава (рис.14.5 и 14.6).

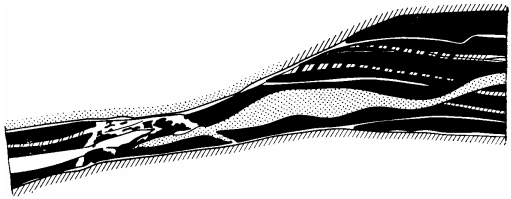


Рис. 14.5. Эрозионный сингенетический размыв (Саранский участок Карагандинского бассейна)

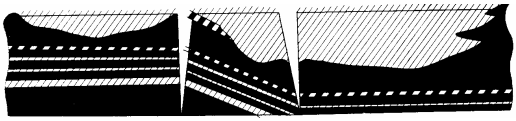


Рис. 14.6. Размыв эпигенетического типа (Саранский участок Карагандинского бассейна)

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 алевролит или мелкозернистый песчаник с высокой механической прочностью. В результате в угольной массе пласта встречаются инородные тела, так называемые кластические дайки различной мощности – от долей метра до нескольких метров (рис. 14.7) и протяженности в десятки метров, существенно осложняющие отработку угольных пластов.

Тектонические воздействия на угольные пласты приводят к возникновению экзогенных трещин, при значительном развитии которых уголь становится псевдопластичным, в угольных пластах образуются раздувы и пережимы, отмечаются расштыбование угля, нарушение устойчивости вмещающих пород кровли и почвы и засорение угля минеральными примесями. В отдельных случаях тектонические воздействия на пласты угля вызывают полную утрату ими промышленной ценности (рис. 14.8 и 14.9).

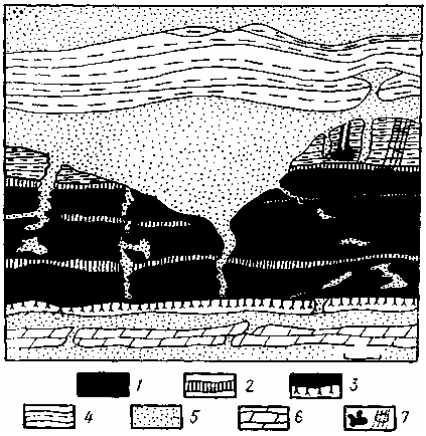


Рис. 14.7. Сводная схема взаимоотношения кластических жил и даек с вмещающими породами и угольными пластами Интинского месторождения Печорского бассейна (по *А.Г. Дмитриеву):*
1 – уголь; *2* – углистый аргиллит; *3* – стигмариевая почва; *4* – слоистые аргиллиты и алевролиты; *5* – песчаники; *6* – мергелистые породы; *7* – остатки стволов и хвощей

Внедрение магматических пород в угленосную толщу в виде пластовых интрузий и даек обусловливает локальные изменения химико-

технологических и физико-механических свойств углей. При этом пластовые интрузии нередко срезают часть пласта или весь пласт, ассимилируют угольную массу (рис. 14.10).

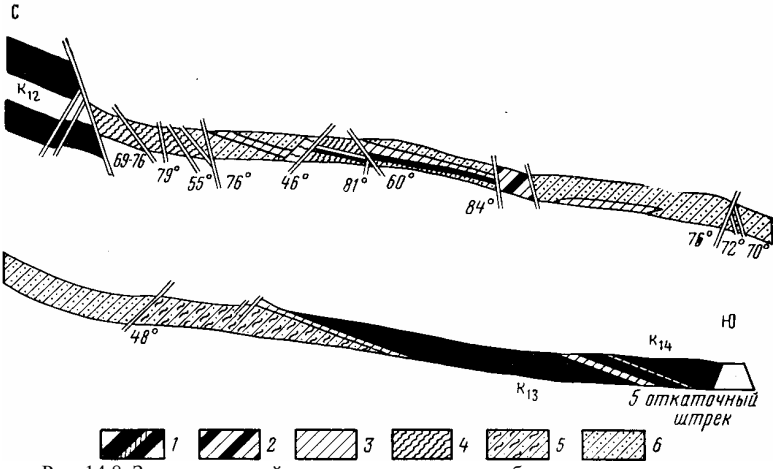


Рис. 14.8. Зона нарушений, выявленная горными работами в висячем крыле Майкудукского сброса Карагандинского бассейна (пласт $к_{12}$)

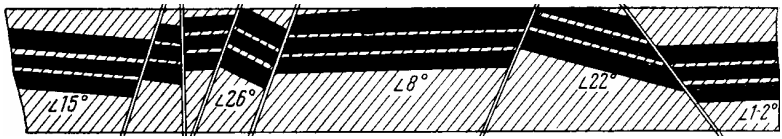


Рис. 14.9. Система мелкоамплитудных разрывов, приуроченных к шарниру нарушения (Карагандинский бассейн, пласт $к_{18}$)

Проявление карста в подстилающих уголь породах приводит к провалам угольного пласта, изменению мощности и разрушению угля на локально ограниченных участках.

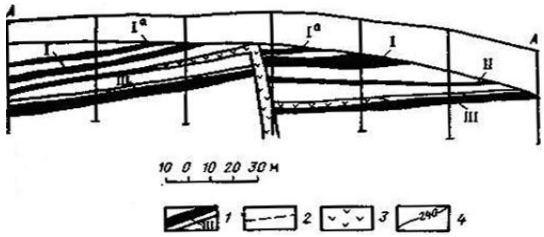


Рис. 14.10. Геологический разрез Кайерканского месторождения (по *В.Ф. Твердохлебову): 1*–угольные пласты и их номера; *2*–разрывные нарушения; 3–магматические породы; 4–изогипса пласта III

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 простиранию на 20 км. Ширина зоны выгорания 1,5–2км. Зоны выгорания пластов Мощного, Прокопьевского и Спутника на шахте «Тайбинская» (Кузбасс) распространяются на глубину до 200 м (рис. 14.11).

14.5. Угленосная толща

Угленосная толща представляет собой комплекс осадочных пород, обязательной составной частью которых являются пласты угля. Породы, слагающие угленосные толщи, в основном обломочные, различного гранулометрического состава – конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты и аргиллиты. Иногда присутствуют хемогенно-органогенные породы морского происхождения.

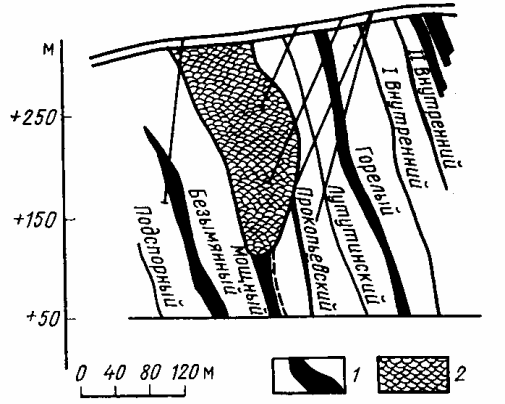


Рис. 14.11. Выгорание угольных пластов в Кузнецком бассейне: 1–уголь; 2–обожженные породы («горельники»)

При кажущемся внешнем сходстве одноименные породы угленосной толщи существенно отличаются по вещественному и гранулометрическому составу, степени окатанности зерен, сортированности материала, текстурным особенностям и характеру органических и неорганических включений. Все это свидетельствует о большом разнообразии фациальных условий осадконакопления. В то же время между породами угленосной толщи отмечается тесная парагенетическая связь. В угленосных толщах в различных сочетаниях принимают уча-

стие 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. 14.7.

Таблица 14.7

Классификация обломочных пород

Размер обломков, мм	Рыхлые		Сцементированные	
	окатанные	неокатанные	окатанные	неокатанные
Более 100	Валуны	Глыбы	Конгломерат:	Брекчия:
	Галечник:	Щебень:	валунный	глыбовая
100–50	крупный	крупная	крупногалечный	крупная
50–10	мелкий	мелкая	мелкогалечный	мелкогалечная
10–1	Гравий	Дресва	гравийный (гравелит)	Дресвяник
	Песок:		Песчаник:	
1–0,5	крупнозернистый		крупнозернистый	
0,5–0,25	среднезернистый		среднезернистый	
0,25–0,1	мелкозернистый		мелкозернистый	
0,1–0,01	Алеврит (песчаная глина)		Алевролит (песчано-глинистый сланец)	
Менее 0,01	Глина		Аргиллит (глинистый сланец)	

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 сушею при регрессии. В результате морские осадки перекрывались континентальными (и наоборот), сменяли друг друга циклы осадконакопления. Такие явления в некоторых бассейнах повторялись десятки раз.

Колебательные движения земной коры в зависимости от приуроченности угленосных бассейнов к различным структурным зонам – геосинклинальным, платформенным или переходным – проявлялись неодинаково. В связи с этим среди угленосных отложений выделяются соответствующие генетические типы: геосинклинальный, платформенный и переходный от геосинклинального к платформенному.

14.6. Ощая характеристика угольных месторождений

Классификация угленосных формаций, бассейнов и месторождений

Угольное месторождение – часть земной коры, сложенная угленосными отложениями, содержащими пласты угля, пригодные для экономически эффективной разработки. Месторождение может либо быть частью бассейна (например, Шоптыкольское, Сарыкольское и Талдыкольское месторождения Майкюбенского бассейна), либо пред-

ставлять собой обособленно залегающую угленосную толщу, небольшую по площади распространения и запасам угля (например, месторождения углей Шубарколь и Борлы).

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 развития древних торфяников в прибрежно-морских или озерных условиях – различают *паралические* (от греч. *паралос* – близкие к морю) и *лимнические* (от греч. *лимнос* – озеро) угольные бассейны. Например, к бассейнам паралического типа относятся Донецкий, Рурский (Германия), Иллинойс (США), к лимническим – Карагандинский, Челябинский, Нижнесилезский (Польша) и Саарский (Германия, Франция).

В начале 30-х годов XX 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. Крашенниников и др. В тектонической

классификации Г.Ф. Крашенниникова (1957 г.) угленосные формации разделены только на геосинклинальные и платформенные. 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. 14.8).

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 и более или менее равномерно распределенных по всему разрезу. В платформенных бассейнах число угольных пластов единицы, редко десятки.

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.

Для бассейнов платформенного типа обычно угли слабо измененные, низкой степени углефикации, в основном бурые – землистые и плотные матовые, реже переходные к каменным.

Таблица 14.8

Схема генетической классификации угленосных формаций (по *Г.А. Иванову*)

Подразделения	Угленосные формации						
	Геосинклинальные			Промежуточная	Платформенная		
	эвгеосинклинальная	передовых и аналогичных им прогибов	миогеосинклинальная		древней платформы	молодой платформы	
Типы (по геотектоническому режиму)	Прогибов цетральных, наиболее подвижных зон геосинклиналей	Внутренних и передовых (краевых) прогибов	Внешних прогибов	Промежуточных прогибов	Внутренних и внешних устойчивых или подвижных (активизированных) прогибов (по форме)	Разнообразных приразломных, унаследованных прогибов, в соляноку-польных структурах и др.	
Подтипы (по общему ландшафту)	Межгорные	Межгорные и предгорные	Предгорные	Межгорные	Равнинные и предгорные	Межгорные	
Виды (по общей преобладающей фациальной обстановке)	Прибрежно-морские	От прибрежно-морских и прибрежно-бассейновых (в основном лагунных) до прибрежно-континентальных (устьевых частей и дельт рек)	Прибрежно-морские; прибрежнокон-тинентальные	От прибрежно-бассейновых (в ос-новном лагунных) до внутриконтинентальных	Прибрежно-морские; прибрежно-континентальные	Внутриконтинентальные	
Типичные примеры	Месторождения восточного склона Урала, Род-Айленд	Кузнецкий, Карагандинский, Донецкий, Печорский, Рурский, Аппалачский бассейны и др.	Кизеловский бассейн	Минусинский, Улугхемский, Буреинский бассейны	Подмосковный, Тунгуский, Канско-Ачинский, Днепровский бассейны	Кузнецкий, Челябинский, Южно-Уральский бассейны и др.	

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 (рис. 14.12).

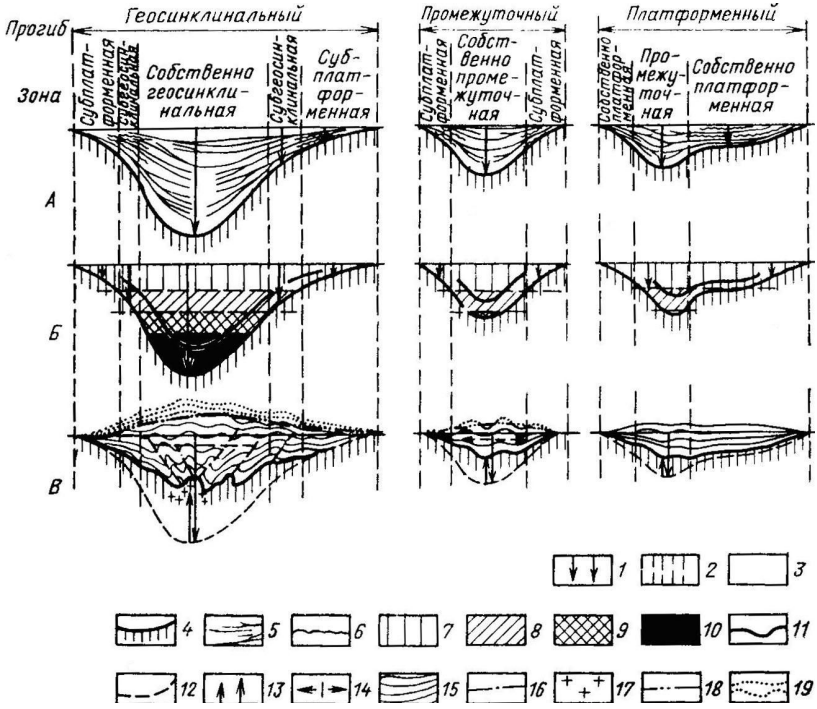


Рис. 14.12. Схема образования и изменения угленосных формаций в основных типах волновых прогибов (по *Г.А. Иванову). А* – основные типы волновых прогибов, их зоны и образующиеся в них угленосные формации; *Б* – зональность регионального метаморфизма угля в различных типах угленосных формаций (вертикальные зоны метаморфизма углей и соответствующие им зоны эпигенеза пород; *В* – зональность тектоники и 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* – тощие и антрациты; *11* – один из пластов угля в каждом типе прогибов, по которому видна горизонтальная зональность метаморфизма; *12* – контуры максимальной глубины прогибания; *13* – амплитуды поднятия; *14* – тангенциальные напряжения; *15* – складки;*16* – разрывы; *17* – магматические очаги; *18* – поверхность эрозионного среза формации; *19* – ее размытые части

Различия в особенностях нарушенности залегания угленосных отложений наблюдаются в Карагандинском (рис. 14.13 и 14.14) и других бассейнах геосинклинального типа.

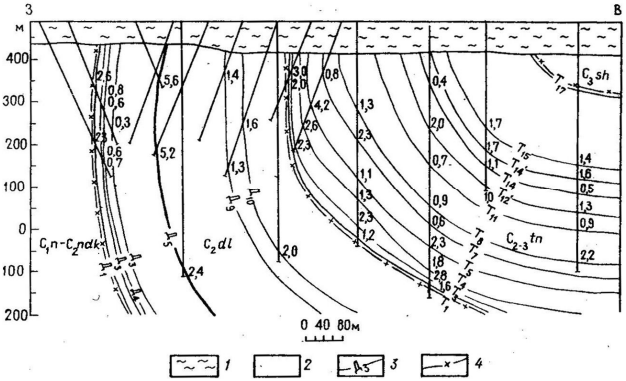


Рис. 14.13. Геологический разрез западной части Тентекского участка Карагандинского бассейна (по *А.А. Костливцеву, В.М. Бекману, И.В. Орлову): 1*–неогеновые глины; *2*–свиты карбона (C_3sh–шаханская, $C_{2-3}tn$–тентекская, C_2dl–долинская, $C_1–C_2ndk$–надкарагандинская); *3*–угольные пласты долинской (д) и тентекской (т) свит, их номера и мощность, м; *4*–границы свит



Рис. 14.14. Геологический разрез северо-восточной части Промышленного участка Карагандинского бассейна (по *А.А. Костливцеву, В.М. Бекману, И.В. Орлову): 1*–свиты карбона (C_1v_3–n*krd*–карагандинская, C_1v_{1-2}*ash*–ашлярикская). Остальные условные обозначения см. на рис. 14.13

Для платформенных бассейнов типично почти горизонтальное или очень пологое залегание угольных пластов с редкими разрывами, в основном сбросами.

В бассейнах промежуточного типа совмещены отдельные черты как геосинклинальных, так и платформенных бассейнов. Им свойственно большое разнообразие мощностей угленосных толщ, угленосности и фациального состава пород; для угленосных толщ характерны угли марок Д, Г, а иногда и Ж.

14.7. 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 поздне-юрское – раннемеловое, а третий – в позднемеловое – третичное (палеоген и неоген). В ходе дальнейших исследований эти данные были уточнены (рис. 14.15).

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.

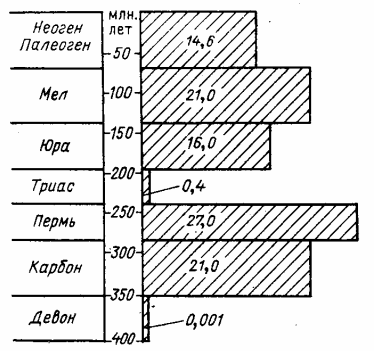


Рис. 14.15. Распределение мировых запасов угля (%) в стратиграфическом разрезе (по *А.К. Матвееву* и *Н.Г. Железновой)*

Площади с преобладанием угленакопления в каменноугольном периоде протягиваются в широтном направлении из восточных штатов США в Великобританию, а далее через север Франции, Бельгию, ФРГ, Чехию, ПНР и СНГ (Донбасс, Подмосковный, Кизеловский, Карагандинский бассейны, Северный Казахстан). Максимум угленакопления относится к среднему и верхнему карбону, а узлы его расположены в следующих регионах: нижнекаменноугольный – в Карагандинском, среднекаменноугольный – в Верхнесилезском (Польша) бассейнах; средне-верхнекарбоновых узлов два – североамериканский и западноевропейский.

Пояс с преобладанием пермского угленакопления прослеживается в направлении, близком к меридиональному, от Печорского бассей-

на 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 СНГ древнейшие угольные бассейны каменноугольного возраста расположены в основном в пределах европейской части (Донецкий, Подмосковный, Кизеловский, Львовско-Волынский), а также в Центральном Казахстане (Карагандинский, Екибастузский), пермские бассейны (за исключением Печорского) – в Западной (Кузнецкий, Минусинский) и Восточной Сибири (Таймырский и Тунгусский), юрские и меловые – в Казахстане, Восточной Сибири, Забайкалье и частью на Дальнем Востоке (Канско-Ачинский, Иркутский, Ленский, Южно-Якутский и др.).

По масштабам запасов (млрд т) основные бассейны и месторождения углей СНГ распределены следующим образом:

более 1000 — Тунгусский, Ленский;
200–700 — Кузнецкий, Канско-Ачинский, Таймырский;
50–100 — Донецкий, Зырянский;
30–50 — Торгайский, Печорский, Карагандинский, Иркутский;
10–30 — месторождения Средней Азии, Минусинский, Южно-Якутский (Саха), Буреинский, Подмосковный;
5–10 — Екибастузский, Майкюбенский;
1–5 — Шубаркольский, Каражыра, Днепровский, Южно-Уральский, Челябинский и др;

Кроме этого, около 500 млрд. т запасов находится в небольших по размерам угольных месторождениях, размещающихся по всей территории СНГ. Количество запасов угля, пригодных к освоению, т. е. разведанных до промышленных категорий, в разных бассейнах далеко неодинаково – в одних (Донецкий, Минусинский, Екибастузский, Днепровский) оно превышает 50 %, в других (Кузнецкий, Канско-Ачинский, Иркутский, Подмосковный) составляет 25–35 %, а в третьих (Ленский, Тунгусский, Таймырский, Зырянский) – исчисляется сотыми долями процента.

Карагандинский угольный бассейн находится в Карагандинской области. Площадь его составляет 3600 км^2, угленосные отложения карбона занимают 2000 км^2. Угли Карагандинского бассейна открыл в 1833 г. местный чабан Аппак Байжанов.

Угленосные свиты сложены в основном сероцветными аргиллитами, алевролитами, песчаниками, пластами и пропластками каменных углей и редкими тонкими прослоями туфопесчаников, туффитов и пепловых туфов. В структурном отношении Карагандинский бассейн приурочен к западной части одноименного широтно вытянутого квазисинклинория (рис. 14.16).

В продуктивной толще карбона насчитывается до 80 пластов и пропластков угля суммарной мощностью 87 м. В среднем по 30 рабочим пластам суммарной мощностью 40 м подсчитаны балансовые запасы. Карбоновые угли каменные, гумусовые, характеризуются сложным петрографическим составом, который изменяется как в стратиграфическом разрезе, так и по площади. Вверх по разрезу продуктивной толщи в угольных пластах происходит увеличение количества блестящих и полублестящих типов углей и уменьшение полуматовых и матовых.

Зольность углей снижается вверх по разрезу от 29–44 % в ашлярикской свите и низах карагандинской до 20–37 % в основной части. Теплота сгорания на горючую массу изменяется в пределах 33,9–36,4 мДж/кг, низшая рабочего топлива – от 18,8 до 28,0 мДж/кг. Угли характеризуются средней, трудной и очень трудной обогатимостью (ГОСТ 10100–84) и зависит от их зольности. По содержанию серы угли относятся в основном к малосернистым (до 1,5 %) и среднесернистым (1,5–2,5). В углях карагандинской свиты содержание фосфора растет вверх по разрезу от 0,01–0,06 % в углях пласта $к_2$ до 0,05–0,09 % в углях пласта $к_{18}$.

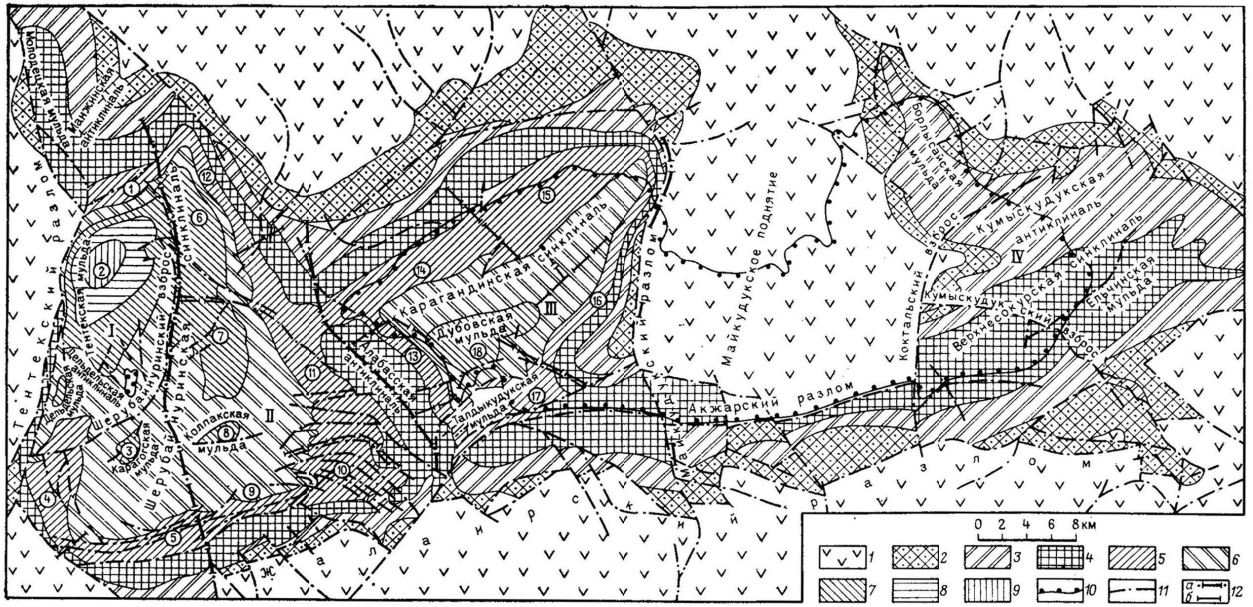


Рис. 14.16. Схематическая геологическая карта Карагандинского бассейна: *1* – дофаменские образования; *2* – фаменский и турнейский ярусы; *3–9* – угленосная толща карбона: *3* – аккудукская свита (C_1v_1ak), *4* – ашлярикская свита (C_1v_{1-2}aš), *5* – карагандинская свита ($C_1v_{3+}skrg$), *6* – надкарагандинская свита *(C_2ndk), 7* – долинская свита (*C_2dl), 8* – тентекская свита (C_2tn), *9* – шаханская свита ($C_3šh$); *10* – контур распространения юрских отложений; *11* – разрывные нарушения; *12* – границы угленосных районов *(а)* и участков (б). I–IV – геолого-промышленные районы: I – Тентекский, II – Шерубайнуринский, III – Карагандинский, IV – Верхнесокурский. Цифрами в кружках обозначены угленосные участки: 1 – Манжинский, 2 – Тентекский, 3 – Карагогский, 4 – Сасыккольский, 5 – Тасзаимский, 6 – Каражаро-Шаханский, 7 – Долинскнй, 8 – Колпакский, 9 – Кишкенекольский, 10 – Южный, 11 – Центральный, 12 – Северный, 13 – Алабасский, 14 – Саранский, 15 – Промышленный,

Марочный состав углей (ГОСТ 25543–88) изменяется по площади и с глубиной. В пределах бассейна встречается широкая гамма углей от газовых до отощенных спекающихся. Преобладают угли марок КЖ, К, ОС. Угли ашлярикской и карагандинской свит соответствуют маркам К, КО, КС, ОС. Угли долинской и тентекской свит относятся к маркам Г, Ж, КЖ, К. Для коксования пригодны угли всех марок. Однако угли некоторых пластов, несмотря на высокие спекающие свойства, для коксования не используются ввиду их высокой зольности (35–40 %) и очень трудной обогатимости.

Промышленная угленосность юрских отложений связана с дубовской и михайловской свитами. Юрские угли Карагандинского бассейна бурые, высокометаморфизованные, марки 3Б, пластовая зольность 16–32 %. Угли малосернистые (серы общей 0,5–0,8 %), средне- и многофосфористые (фосфора 0,01–0,08 %), Угли обладают высокой теплотой сгорания, в пересчете на горючую массу она колеблется в пределах 28,5–31,8 мДж/кг, низшая теплота сгорания рабочего топлива 15,9– 18,8 мДж/кг.

Горно-геологические условия эксплуатации Карагандинского бассейна довольно сложные. Определяются они главным образом степенью обводненности, устойчивости и газоносности вмещающих пород и угольных пластов. Карагандинский бассейн один из наиболее газоносных.

Запасы углей Карагандинского бассейна составляют 43 704 млн. т. Из общего количества балансовых запасов и кондиционных ресурсов коксующихся углей 10 836 млн. т основную часть (9 254 млн. т) составляют запасы углей марок К, КО, КС и ОС; запасы углей особо ценных марок Ж и КЖ оцениваются в 1 419 млн. т, а углей марок Г – 163 млн. т. Запасы бурых углей подсчитаны в количестве 2 404 млн. т, в т.ч. разведанные и учтенные Государственным балансом 2 072 млн. т, из них балансовых 565 млн. т.

Екибастузский каменноугольный бассейн расположен в Баянаульском районе Павлодарской области. Его открыл в 1876 г. местный рудознатец Косум Пишенбаев. Планомерные геологоразведочные работы начаты в 1940 г. Систематическая разработка угля ведется с 1955 г. В разрезе угленосной толщи карбона выделяются свиты (снизу вверх): аккудукская, ащылыайрыкская, екибастузская, карабидаикская и акбидаикская (рис. 14.17).

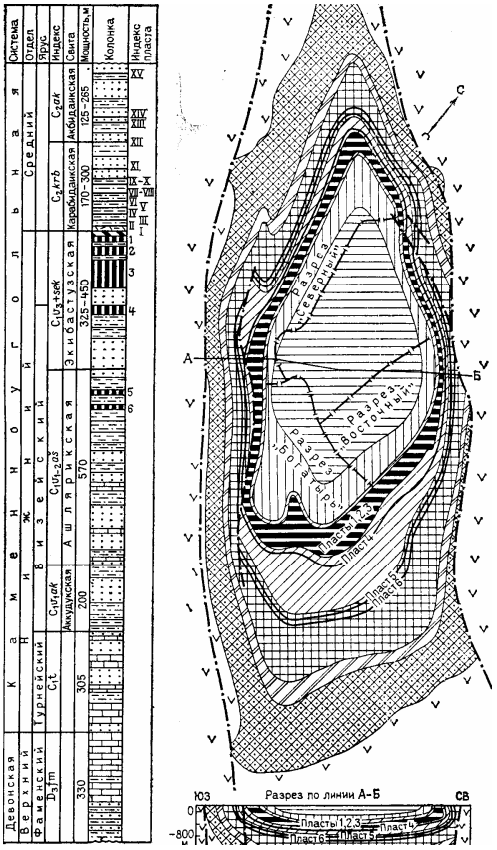


Рис.14.17. Схематическая геологическая карта Екибастузского бассейна

В структурном отношении Екибастузский бассейн представляет собой асимметричную мульду, вытянутую с северо-запада на юго-восток. Общая протяженность ее 24 км, наибольшая ширина 8,5 км. Площадь бассейна равна 155 км^2, из них на долю угленосной толщи (по пласту 6) приходится 77 км^2. По почве пласта 4 максимальная глубина 760 м. Северо-восточное крыло и южная половина юго-западного крыла мульды интенсивно нарушены, углы падения колеблются в пределах 5–20° и 10–40°.

Угли бассейна каменные, гумусовые, высокоминерализованные, характеризуются весьма сложным вещественно-петрографическим составом. Пласты 6 и 5 сложены в основном матовыми дюреновыми углями. Пласты 4, 3, 2 и 1 представлены преимущественно полуматовыми и матовыми кларено-дюреновыми и дюреновыми разностями. Угли всех пластов находятся на средних стадиях метаморфизма, основных рабочих пластов 1, 2, 3 и 4 соответствуют стадиям II–III и III. На глубоких горизонтах бассейна угли пласта 4 находятся на III и III–IV стадиях метаморфизма. Угли пластов 5 и 6 по степени метаморфизма соответствуют стадии III–IV (угли коксово-жирные).

Качество углей основных рабочих пластов 1, 2, 3 и 4 изучено достаточно полно. Средняя зольность горной массы пластов 1 и 2 равна 37 %, а пластов 3 и 4 – 48–49 %. По содержанию серы и фосфора угли всех основных рабочих пластов бассейна относятся к группе ма-

лосернистых (0,42–0,67%) и многофосфористых. (0,03–0,09 %). Высшая удельная теплота сгорания необогащенных углей в пределах 30,2–32,9 мДж/кг, низшая (расчетная) удельная теплота сгорания рабочего топлива 14,1–19,4 мДж/кг. Угли бассейна по ГОСТ 25543–88 относятся к марке СС (слабоспекающиеся), на некоторых участках угли пластов 3 и 4 соответствуют марке ОС. В целом угли бассейна согласно потребительскому ГОСТу 8779–79 относятся к марке ОС, по ГОСТ 10100–84 относятся к категории очень труднообогатимых.

Большая мощность и простые условия залегания угольных пластов, малый коэффициент общей вскрыши, низкая обводненность продуктивных отложений, хорошая устойчивость пород в бортах карьеров обусловили благоприятные инженерно-геологические условия, позволяющие вести разработку бассейна открытым способом.

Коэффициент вскрыши колеблется от 1,8 до 4 $м^3$/т. Породы, вмещающие рабочие угольные пласты, представлены песчаниками, алевролитами, аргиллитами и слабоуглистыми аргиллитами. Наиболее прочными (48–53,3 МПа) считаются песчаники и алевролиты. При переслаивании аргиллитов, углистых аргиллитов и выветрелых песчаников прочность снижается до 26,8 МПа.

Общие запасы углей Екибастузского бассейна оцениваются в 11301 млн. т, из них учтены Государственным балансом 9504 млн. т. Он разрабатывается тремя угольными разрезами: «Северный» (бывший «Центральный»), «Богатырь» мощностью и «Восточный». Последний вступил в строй в 1985 г.

Буроугольное месторождение Каражыра находится в Восточно-Казахстанской области в 110 км к юго-западу от г.Семей. Открыто в 1967 г. В разрезе угленосной толщи залегают два угленосных горизонта – *нижний* мощностью 85–90 м, содержащий пять пластов угля рабочей мощности, и *верхний* мощностью 50–80 м, содержащий три пласта рабочей мощности. Расстояние между угленосными горизонтами 35–40 м Общая мощность угленосных горизонтов около 180 м (рис. 14.18).

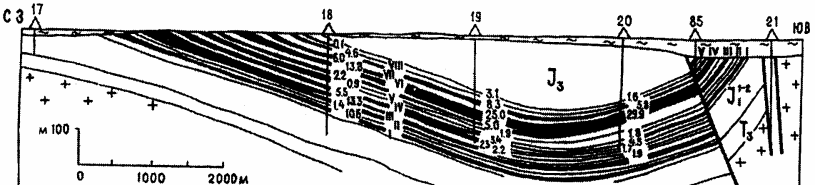


Рис. 14.18. Геологический разрез месторождения Каражыра

Мощность угольной массы рабочих пластов варьирует от 2–3 до 5–12 м, иногда до 33 м. Средняя мощность пластов составляет 9,1 м, а суммарная их мощность в среднем равна 73,1 м. Средняя лабораторная влажность углей 6,3%, зольность их колеблется от 14 до 19 %, в среднем 16,3 %. Угли малосернистые, содержание общей серы в среднем всего 0,48 %. Теплота сгорания на горючую массу в среднем 31,4 мДж/кг. По ГОСТ 25543–88 угли относятся к марке 3Б. Угли месторождения Каражыра – хорошее энергетическое и бытовое топливо. Месторождение разрабатывается открытым способом. Ресурсы месторождения до глубины 600 м оцениваются как прогнозные кондиционные в количестве 1536 млн. т.

Майкюбенский буроугольный бассейн расположен в Павлодарской области в 160 км к юго-западу от г. Павлодара и в 65 км к юго-востоку от Екибастузского бассейна. Общая площадь его около 1000 км^2, из них с промышленной угленосностью 170 км^2. В пределах бассейна известны пять месторождений: Шоптыколь, Сарыколь, Талдыколь, Таскудук и Тамды. Первые два детально разведаны, проводится предварительная разведка месторождения Талдыколь. Месторождения Таскудук и Тамды, а также остальная площадь бассейна изучены на стадии поисков (рис. 14.19).

Майкюбенский бассейн приурочен к крупной впадине, выполненной угленосными отложениями юрского возраста. Угленосная толща подразделяется на четыре свиты (снизу вверх): ащикольскую (до 750 м), талдыкольскую (до 340 м), шоптыкольскую (до 290 м) и жиренкольскую (до 100 м). В их строении участвуют песчаники и конгломераты (52 %), в меньшей степени алевролиты (22 %), подчиненное значение имеют аргиллиты (13 %), углистые аргиллиты (4 %) и сидериты (до 1 %). Коэффициент общей угленосности изменяется от 1,5–5,0 % (ащикольская и жиренкольская свиты) до 15–20 % (талдыкольская и щоптыкольская свиты). Мощность угленосных отложений в целом увеличивается с юга на север, но максимального значения (1800 м) достигает в центральной части бассейна, в районе месторождения Шоптыколь.

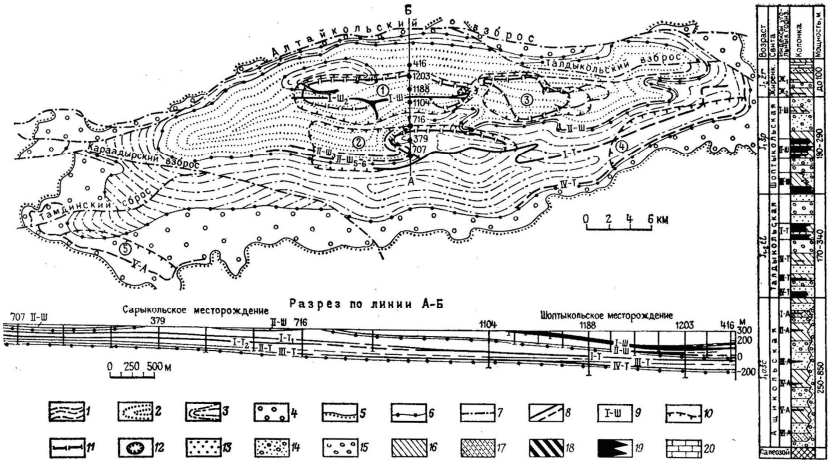


Рис. 14.19. Схематическая геологическая карта Майкюбенского буроугольного бассейна. *Свиты*: 1–жиренкольская ($J_2žr$), 2–шоптыкольская ($J_2šp$), 3–талдыкольская ($J_{1–2}tl$), 4–ащикольская ($J_1ašc$); 5–граница распространения юрских отложений; 6–границы угленосных свит; 7–разрывные нарушения; 8–выходы угольных пластов, установленные и предполагаемые; 9–индексы угольных пластов; 10–границы угольных месторождений с запасами, пригодными для открытых работ; 11–изолинии предельного коэффициента вскрыши (10 м^3/т); 12–действующий карьер; 13–песчаники; 14–гравелиты; 15–конгломераты; 16–аргиллиты; 17–алевролиты; 18–углистые аргиллиты; 19–уголь; 20–известняки. *Цифры в кружках – месторождения*: 1–Шоптыкольское; 2–Сарыкольское; 3–Талдыкольское; 4–Таскудукское; 5–Тамдинское

Угленосные отложения образуют крупную впадину, вытянутую в широтном направлении на 70 км при средней ширине 16 км и максимальной 20 км. В поперечном разрезе впадина имеет резко выраженное асимметричное строение. Северное крыло ее характеризуется крутым, иногда вертикальным и местами опрокинутым залеганием пород, южное – пологое, с углами падения 3–10°.Структура бассейна осложнена складками и продольными разломами, тяготеющими к Алтайкольскому разлому, ограничивающему бассейн с севера. Наиболее крупные складки приурочены к осевой части впадины, где они имеют широкие и пологие формы и вытянуты почти на всю длину структуры. Складки, расположенные ближе к бортам, характеризуются сравнительно небольшой протяженностью (6–10 км) и более крутыми и узкими формами. Наиболее крупные складки – Шоптыкольская и Сарыкольская синклинали и разделяющая их Талдыкольская антиклиналь. В пределах Шоптыкольской синклинали находятся месторождения Шоптыколь и Талдыколь. К осевой части Сарыкольской синклинали приурочено месторождение Сарыколь.

Среди разрывных нарушений, имеющих широкое распространение прибортовых частях бассейна, преобладают взбросы с крутым падением сместителей на север под углом 70–80°. Все разрывные нарушения тяготеют к разломам в палеозойском фундаменте. Амплитуды нарушений в угленосной толще постепенно уменьшаются и затухают вверх по разрезу, обусловливая местами образование на верхних горизонтах узких флексурообразных складок, в пределах которых мощность угольных пластов резко уменьшается, пласты расщепляются и выклиниваются. Амплитуды нарушений обычно 35–75 м.

Угленосность продуктивных отложений возрастает вверх по разрезу и к центральной части бассейна. Максимального значения она достигает в шоптыкольской и талдыкольской свитах на площади месторождений Шоптыколь, Сарыколь и Талдыколь. Угленосность жиренкольской и ащикольской свит незначительная.

Большинство угольных пластов имеют сложное и изменчивое строение. На месторождениях Шоптыколь, Сарыколь и Талдыколь они образуют комплексы сближенных пластов, сливающихся на отдельных площадях в единые мощные угольные горизонты.

Талдыкольская свита содержит четыре угольных горизонта (I-Т–IV-Т). Наиболее мощные и выдержанные — угольные горизонты I-Т и IV-Т, пригодные для отработки открытым способом на месторождениях Шоптыколь (I-Т, IV-Т), Сарыколь (I-Т) и Таскудук (IV-Т). Их рабочая мощность на месторождении Шоптыколь составляет 9,8 и 17,7 м (угля 7,4 и 10,2 м). На месторождении Сарыколь угольный горизонт I-Т сложен четырьмя сближенными пластами мощностью 3,0–5,0 м (угля 2,0–4,1 м) каждый. На месторождении Таскудук угольный горизонт IV-Т, вскрытый вблизи выхода на поверхность, имеет простое однопластовое строение, мощность его 5,6 м (угля 5,1 м).

Шоптыкольская свита содержит два угольных горизонта I-Ш и II-Ш. Менее сложное (однопластовое) строение угольные горизонты имеют в южной и центральной частях месторождения Шоптыколь, где их рабочая мощность соответственно равна в среднем 20–25 м и 15–20 м, а коэффициент угленосности составляет 80–90 %. На флангах месторождения и по падению угольные горизонты расщепляются на отдельные пласты, а последние – на серию угольных пачек, постепенно утоняющихся и выклинивающихся. Здесь общая мощность угольных горизонтов хотя и возрастает до 100 м и более, но угленосность их снижается до 50 % и менее. В угольном горизонте I–Ш в зонах расщепления выделяются до шести самостоятельных пластов, а в горизонте II–Ш – три пласта. Мощность угольных пластов изменяется в среднем от 3,0 до 10,0 м (угля 2,0–9,0 м), а суммарная мощность всех

пластов составляет 22,7 м (угля 20,4 м) по угольному горизонту I-Ш и 15,9 м (угля 14,0 м) по угольному горизонту II-Ш.

На месторождениях Сарыколь и Талдыколь в шоптыкольской свите установлен только один угольный горизонт II–Ш. На месторождении Сарыколь он представлен четырьмя основными рабочими пластами общей мощностью в среднем 14,5 м (угля 11,2 м), а на месторождении Талдыколь – двумя пластами суммарной мощностью 7,5 м (угля 6,3 м).

Жиренкольская свита, развитая только на месторождении Шоптыколь, содержит два угольных пласта $Ж_1$ и $Ж_2$, из которых рабочую мощность 6,0 м (угля 5,5 м) имеет только пласт $Ж_2$.

Углы бассейна бурые, марки 3Б по ГОСТ 25543–88, в основном гумусовые. Липоидолиты встречаются редко в виде маломощных прослоев. Небольшое распространение имеют также сапропелево-гумусовые и гумусо-сапропелевые угли. Угольные пласты сложены преимущественно полуматовыми типами углей (67%), полублестящие составляют 23 %, матовые 10 %. По микроструктуре угли соответствуют в основном дюрено-кларенам спорового и смешанного состава (42 %), реже кларенам (27 %) и кларено-дюренам (21 %), количество дюреновых углей не превышает 10 %.

Влажность углей рабочего топлива в среднем равна 18,5%, содержание серы 0,5–0,77 %, фосфора 0,07 %. Выход летучих веществ на горючую массу колеблется от 37 до 45 %, содержание углерода 75–77 %, водорода 3,5–6 %.

Зольность угольной массы составляет 16–18 %, рядовых углей – в среднем 26–35 %. Зола углей тугоплавкая, температура плавления 1250°С. Теплота сгорания органической массы в среднем 29,7 МДж/кг, низшая рабочего топлива 18,4 МДж/кг. Обогатимость углей от средней до трудной и очень трудной. Выход концентрата плотностью менее 1,4 г/см^3 составляет 65–75 % с зольностью 6–10 %, а плотностью менее 1,8 г/см^3 – 80–90 % с зольностью 10–12 %.

Угли всех пластов энергетические и могут сжигаться на электростанциях в пылевидном состоянии и в слое. Пригодны они для использования в качестве бытового топлива, а также для газификации в газогенераторах, что подтверждается опытом использования их в генераторных установках Шоптыкольской ТЭЦ, действовавшей с 1941 по 1959 гг. Первичный газ с выходом до 3,5 м^3/кг обладает теплотой сгорания (17,1–19,2 МДж/кг).

Угольные пласты основных месторождений бассейна залегают под углом не более 5–10°. Около 90 % балансовых запасов сосредоточены в мощных (3,5–10 м) и особо мощных (более 10 м) пластах и

лишь 10% запасов приходится на пласты средней мощности (2,0–3,5 м). Максимальная глубина залегания угольных пластов, пригодных для отработки открытым способом при коэффициенте вскрыши до 10 $м^3/т$, составляет не более 250 м. В разрезе продуктивной толщи преобладают рыхлые породы с временным сопротивлением сжатию 100–200 $кгс/см^2$.

Газоносность углей и пород незначительная. Появление газа отмечается на глубине 175–200 м, где содержание его составляет не более 2–5 $м^3/т$, а количество метана в газе – около 4 %. Угли всех пластов относятся к пожароопасным. Особенно опасны в смысле самовозгорания угли зоны окисления, угольная мелочь и угли с влажностью до 12 %.

Практически все разведанные балансовые запасы могут быть отработаны открытым способом. На месторождениях Шоптыколь и Сарыколь коэффициент вскрыши составляет 5 $м^3/т$, Талдыколь – около 6,5 $м^3/т$. Средний коэффициент вскрыши по бассейну 8,5 $м^3/т$.

Общие запасы углей бассейна до глубины 600 м оцениваются в 5305 млн. т, из них разведанные и учтенные Государственным балансом 3647 млн. т, в том числе балансовые 1821 млн. т. Прогнозные ресурсы составляют 1658 млн. т. К группе балансовых запасов, пригодных для отработки открытым способом при коэффициенте вскрыши до 10 $м^3/т$, отнесены запасы углей пластов с минимальной мощностью 2 м, максимальной пластовой зольностью 40 % и раздельно отрабатываемыми породными прослоями мощностью 1 м и более.

Освоение балансовых запасов только месторождений Шоптыколь, Сарыколь и Талдыколь дает возможность развить добычу углей в бассейне открытым способом до 30 млн. т в год при коэффициенте вскрыши до 10 $м^3/г$.

Шубаркольское месторождение юрских каменных углей расположено в Нуринском районе Карагандинской области, в 150 км к северо-востоку от г. Жезказгана. Площадь его 70 $км^2$. Месторождение открыто в 1983 г. В 1985 г. началось строительство разведочно-эксплуатационного разреза.

В геологическом строении месторождения принимают участие нижнеюрские континентальные отложения мощностью до 290 м, с несогласием залегающие на породах жезказганской свиты среднего-верхнего карбона. Они представлены песчаниками, алевролитами и аргиллитами с пластами углей и прослоями конгломератов. По литологическим особенностям и характеру угленосности эти отложения разделяются на две свиты – саранскую и дубовскую (рис. 14.20).

Угленосные отложения образуют впадину, вытянутую в широтном направлении на 70 км при средней ширине 16 км и максимальной

20 км. В поперечном разрезе впадина имеет резко выраженное асимметричное строение. Северное крыло ее характеризуется крутым, иногда вертикальным и местами опрокинутым залеганием пород, южное – пологое, с углами падения 3–10°.

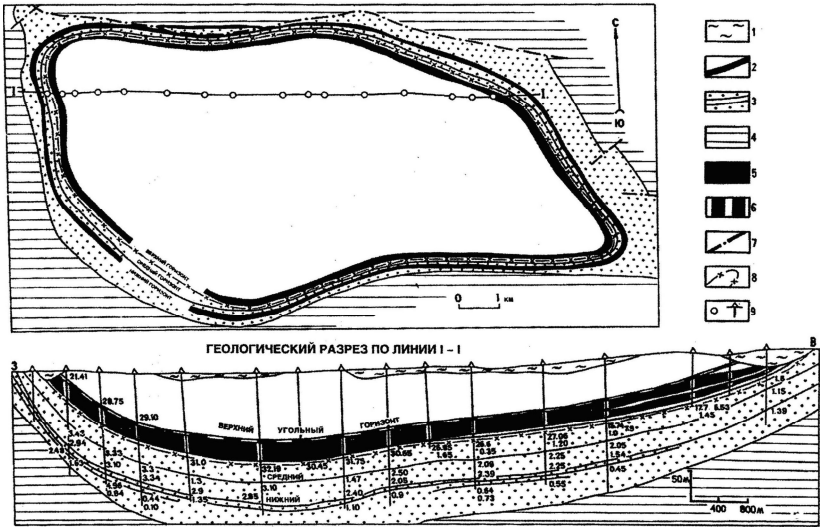


Рис. 14.20. Схематическая геологическая карта и разрез Шубаркольского каменноугольного месторождения

Саранская свита отличается более крупнозернистым составом пород, среди которых доминируют алевролиты и песчаники с прослоями конгломератов и гравелитов. Мощность отложений до 55 м. Дубовская свита характеризуется преобладанием в разрезе аргиллитов и алевролитов; песчаники имеют подчиненное значение. В основании залегает Нижний угольный горизонт. Мощность свиты до 235 м. Отложения нижней юры на отдельных площадях перекрыты глинами неогена мощностью до 30 м. Повсеместно распространены четвертичные суглинки и пески, мощность которых редко превышает 3–4 м.

В структурном отношении месторождение расположено в центральной части Сарысу-Тенизской зоны глыбовых складок и отвечает мульде, которая наследует верхнепалеозойскую грабен-синклиналь. Длинная ось мульды ориентирована в субширотном направлении и протягивается на 16 км, максимальная ширина 7 км. Мульда имеет в целом блюдцеобразную форму. В поперечном сечении ее профиль не-

симметричен, особенно в западной (наиболее глубокой) части, где длинная ось структуры несколько смещена на север от ее геометрического центра. Углы падения угленосной толщи на выходах угольных горизонтов на севере и юге колеблются от 10–25° до 35–59°, возрастая от Верхнего горизонта к Нижнему. Наиболее крутые крылья северо-западное и юго-восточное. Юго-западное и северо-восточное крылья залегают полого (10–20°). Внутреннее строение мульды простое, углы падения здесь составляют 3–5°. Залегание пород осложняется малоамплитудными разрывными нарушениями.

Угленосность месторождения связана с отложениями нижней юры. В продуктивной толще выделяются три угольных горизонта различной мощности и угленасыщенности.

Наиболее мощный и выдержанный Верхний угольный горизонт представляет собой 30–50-метровую залежь сложного, закономерно изменяющегося за счет расщепления строения. Более простое строение и максимальную полезную мощность (до 32 м) Верхний горизонт имеет в северо-западной части месторождения. Здесь углеплотность составляет свыше 35 млн. т/км^2. В юго-восточном направлении общая мощность Верхнего горизонта увеличивается, а полезная мощность в связи с интенсивным расщеплением и утонением угольных слоев постепенно уменьшается до 6–10 м и в отдельных пересечениях достигает 3,2 м (горизонт расщепляется на 10 угольных пластов). Соответственно изменяется и углеплотность, уменьшаясь с северо-запада на юго-восток. В результате углеплотность на 30 % площади распространения Верхнего горизонта превышает 35 млн. т/км^2, на 25 % площади она составляет 30–35 и еще на 25 % – 20–30 млн. т/км^2. На остальной площади углеплотность менее 20 млн. т/км^2. На участке условно монолитного строения (около 60 % площади) Верхний угольный горизонт относится к выдержанным. Здесь однозначно параллелизуются угольные пласты, слагающие горизонт, и разделяющие их породные прослои. На остальной площади, где горизонт расщепляется на отдельные самостоятельные пласты, которые в свою очередь расщепляются на ряд угольных слоев, иногда нерабочей мощности, он квалифицируется как невыдержанный.

Средний угольный горизонт залегает в 40 м ниже Верхнего. В северной половине месторождения верхняя часть горизонта, выделенная в пласт C_1 достигает рабочей мощности. Полезная мощность пласта C_1 колеблется в пределах 1,0–4,1 м при среднем значении 2,8 м. Пласт сложного строения, невыдержанный.

Нижний угольный горизонт, самый сложный и изменчивый по строению и мощности, расположен в 40 м ниже Среднего горизонта.

Он состоит из семи угольных пластов небольшой мощности и изменчивого строения. Промышленное значение, вероятно, имеет только один пласт H_1 занимающий верхнюю часть горизонта. Его мощность всюду превышает 1 м, наибольшего значения она достигает на востоке месторождения – 7,9 м.

Угли месторождения гумусовые, полублестящие, малозольные, малосернистые и малофосфористые, склонные к самовозгоранию; «несоленые» – содержание водорастворимого натрия в сухом угле 0,07–0,12 %; по ГОСТ 25543–88 относятся к марке *Д*.

В вещественно-петрографическом составе углей компоненты группы витринита составляют 87–89 %, липтинита 2–3 %, семивитринита 1–3 %, инертинита 5–7 %, микстинита 1–2 %, сумма отощающих компонентов 7–10 %. Ряд признаков углей характерен для буроугольной стадии углефикации (содержание углерода, гуминовых кислот). Показатель отражения витринита 0,54–0,55 %, влажность аналитическая 5,0–6,0 %, и рабочая (максимальная) 13–15%. Известно, что по ГОСТ 25543–88 угли бурые и каменные разделяются по показателю отражения витринита (R_o=0,60 %) и теплоте сгорания на влажное беззольное состояние (Q_s^{af}=24 МДж/кг). Значение Q_s^{af} для шубаркольских углей составляет в среднем 26,26 МДж/кг. Последнее обстоятельство окончательно определило отнесение их к каменным углям марки *Д*. Угли не спекаются.

Угли являются высококачественным энергетическим топливом для слоевого и пылевидного сжигания, пригодны для использования как коммунально-бытовое топливо; в связи с высоким выходом смол перспективны для получения жидких продуктов в процессе гидрогенизации, могут использоваться как отощающая добавка в шихту спекающихся углей при коксовании.

Горно-геологические условия месторождения благоприятны для добычи углей Верхнего горизонта открытым способом. Средний коэффициент вскрыши составляет 3,0 м^3/т. В соответствии с проведенной институтом «Карагандагипрошахт» раскройкой коэффициент вскрыши изменяется от 2,03 м^3/т для Западного разреза до 3,43 м^3/т для Центрального разреза и 3,29 м^3/т для Восточного. Угли Среднего и Нижнего горизонтов из-за высокого коэффициента вскрыши (более 22 м^3/т) и малых запасов отрабатывать открытым способом нецелесообразно.

Продуктивная толща представлена аргиллитами (среднее содержание от общей мощности толщи 35%), алевролитами (21 %), углями (20 %), песчаниками (13 %), твердыми включениями (8 %).

Для пород вскрыши характерна слоистость, наличие тонких (0,2–

0,5 м, редко 1 м и более) прослоев твердых включений, к которым отнесены породы с прочностью на сжатие более 35,0 МПа, невысокие значения прочности (сопротивление сжатию аргиллитов 8,1–13,2 МПа, алевролитов 10,2–20,4 МПа, песчаников 15,3–30,6 МПа) и преимущественно легкая размокаемость. Временное сопротивление сжатию пород с глубиной увеличивается. Так, для аргиллитов в интервале глубин 0–20 м оно изменяется от 1,53 до 3,56 МПа, на глубине 20–40 м увеличивается до 10,2 МПа и глубже 40 м до 13,2 МПа; для алевролитов в тех же интервалах глубин оно составляет 1,53–8,15; 13,2 и 20,4 МПа, а для песчаников 1,53–8,15; 25,5 и 30,6 МПа.

Прочность твердых включений изменяется в широких пределах (от 35,6 до 14,77 МПа), но преобладают прослои мощностью до 0,4 м с прочностью до 50,9 МПа, поэтому существенного влияния на разработку твердые включения не окажут.

Верхний угольный горизонт залегает в зоне газового выветривания. Содержание метана в подавляющем большинстве проб не превышает 2,5 % и только в нескольких пробах достигает 3– 6 %. Поскольку угли и вмещающие породы деметанизированы, они являются неопасными по выбросам.

Содержание свободного кремнезема в породах более 10 % и колеблется в пределах 12,45–48,70 %. В связи с этим они относятся к силикозоопасным. Исследованиями угольной пыли, выполненными ВостНИИ, установлена ее взрывоопасность при содержании отложившейся пыли 31–38 г/см^3.

Запасы угля месторождения Шубарколь, подсчитанные в 1987 г. по данным детальной разведки, составляют 2147 млн. т, в том числе балансовые категории $A+B+C_1$ 1644 млн. т, категории C_2 477 млн. т, забалансовые 26 млн. т. Из них балансовые запасы углей Верхнего горизонта, пригодные для открытой разработки, по категориям $A+B+C_1$ составляют 1496 млн. т, по категории C_2 192 млн. т. Балансовые запасы углей Среднего и Нижнего горизонтов, пригодные для подземной разработки, по категории C_1 оцениваются в 148 млн. т, по категории C_2 285 млн. т.

Разработка месторождения намечена тремя разрезами общей мощностью 25 млн. т угля в год и сроком службы 70 лет.

Казахстан обладает крупными запасами *каменных* и *бурых углей*. На территории республики известно около 200 угольных месторождений и свыше 200 углепроявлений. Общие геологические ресурсы углей Казахстана оцениваются в 164,4 млрд. т, в том числе, каменных углей – 71,6 млрд. т, бурых – 92,8 млрд. т. Разведанные запасы составляют около 60 млрд. т, забалансовые – 19,3 млрд. т. Из них каменные

угли составляют 63% (в том числе коксующиеся – 17%), бурые – 37%.

Наиболее крупные угленосные бассейны расположены в Центральном Казахстане (Карагандинский, Екибастузский, Майкюбенский). Здесь же находятся крупные месторождения – Шубарколь (2,2 млрд. т), Борлы (0,5 млрд. т), Самарское (1,3 млрд. т), а также ряд неразведанных месторождений Тениз-Коржункольского бассейна. В последнем разведаны запасы только на месторождении Сарыадыр (179 млн. т). Ресурсы углей бассейна в целом оцениваются в 2,7 млрд. т. В Северном Казахстане крупнейшим является Торгайский бассейн бурых энергетических углей. Ресурсные запасы – 52 млрд. т, из них разведано всего 7 млрд. т. Основная часть углей здесь сосредоточена в месторождениях Кушмурун (2,6 млрд. т), Святогорское (1,4 млрд. т, по предварительной оценке), Орловское (1,1 млрд. т), Егинсай (1,1 млрд. т), Приозерное (0,4 млрд. т), Кызылтал (0,4 млрд. т). В Торгайском регионе находится также Жыланшикский буроугольный бассейн (7 месторождений), общие ресурсы которого оцениваются в 22,8 млрд. т, разведанных запасов нет. Наиболее изучено месторождение Жаркуе (38 млн. т). В Южном Казахстане расположены Илийский и Нижнеилийский буроугольные бассейны. Геологические ресурсы первого оцениваются в 14,8 млрд. т, разведанные запасы составляют 0,9 млрд. т (месторождение Илийское). Угли бурые, марки 3Б. Геологические запасы Нижнеилийского бассейна 9,9 млрд. т, в том числе разведанные – 3 млрд. т. Угли бурые, марки 2Б. В Восточном Казахстане известны угольные месторождения Каражира (Юбилейное) – 1,5 млрд. т, угли марки Д, Кендерлыкское (1,6 млрд. т, разведано 250 млн. т, угли марки Д, 1Б). На последнем, кроме угля, разведаны горючие сланцы. Общие запасы оцениваются в 4 млрд. т, в том числе разведанные – 20,3 млн. т.

На западе Казахстана наиболее крупным является буроугольное месторождение Мамыт. Общие геологические запасы – 1,5 млрд. т, их них разведанные – 0,6 млрд. т.

Наибольшими ресурсами углей в республике обладает Центральный Казахстан (около 50 % от общереспубликанских), на втором и третьем месте – соответственно Северный и Южный Казахстан.

Имеющаяся сырьевая база Казахстана полностью обеспечивает потребности и экспортные поставки в углях, потенциальные возможности развития добычи углей весьма значительны.

Горючие сланцы. Наиболее изучено Кендырлыкское месторождение в Зайсанской впадине. Общие геологические запасы горючих сланцев на этом угольном месторождении оцениваются в 4,1 млрд. т, в том числе разведанные по промышленным категориям – 20,3 млн. т, C_2 – 155 млн. т. Месторождение может разрабатываться открытым и

штольным способами. Кроме того, мелкие месторождения горючих сланцев (с запасами первые млн. т) известны в Приаралье (Байхожа и др.), Торгае и Алакольской впадине (вместе с бурыми углями). Однако из-за низкого качества сланцев в настоящее время они не имеют практического значения.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое каустобиолиты? Какое значение они имеют для экономики страны?
2. Какие геологические факторы и показатели определяют условия и направления промышленного использования твердых горючих ископаемых?
3. Перечислите показатели качества ископаемых углей.
4. Что такое торф? Назовите его основные свойства и качественные характеристики.
5. На какие типы разделяются ископаемые угли по составу материнского вещества?
6. Какие геологические факторы определяют условия образования углей? Как они изменялись в геологической истории планеты?
7. Назовите литотипы ископаемых углей.
8. Дайте характеристику петрографического состава ископаемых углей различного возраста.
9. Какие компоненты определяют элементный и групповой состав углей?
10. Объясните зависимость физических и физико-механических свойств углей от их петрографического состава и степени метаморфизма.
11. Какие показатели состава углей влияют на склонность их к окислению и самовозгоранию?
12. Какие характеристики определяют при техническом анализе углей? Для каких целей используют результаты технического анализа?
13. Как изменяются влажность, зольность, выход летучих веществ, теплота сгорания, спекаемость, коксуемость в углях различных марок?
14. На какие марки разделяются ископаемые угли в промышленной классификации?
15. Расскажите о классификации углей по генетическим и технологическим параметрам.
16. По каким показателям производится промышленно-генетическая классификация углей?

17. Перечислите основные направления использования углей в народном хозяйстве.

18. В каких отраслях промышленности используется основная масса добываемых углей?

19. Какие угли относятся к коксующимся? На какие категории они разделяются?

20. Какие основные требования предъявляют к углям различные отрасли промышленности?

21. Что такое угольный пласт, угольный слой? Что называется почвой и кровлей угольного пласта? Как изображается графически структура угольного пласта?

22. Как распределяются угольные пласты по структурным признакам?

23. Приведите классификацию угольных пластов по мощности, степени ее выдержанности, углу падения. Какие существуют типы контактов угольных пластов с почвой, кровлей и породными прослоями?

24. Дайте характеристику эпи- и сингенетических нарушений угольных пластов.

25. Приведите классификацию размывов угольных пластов. Как изменяется морфология угольных пластов под влиянием тектонических воздействий, внедрения интрузивных пород, проявлений карста, при выгорании угля?

26. Что называется угленосной толщей?

27. Объясните понятие угленосная формация.

28. Что называется угольным месторождением, бассейном?

29. Каковы особенности геосинклинальных угленосных бассейнов?

30. По каким характеристикам геологического строения и вещественного состава платформенные угленосные бассейны отличаются от геосинклинальных и промежуточных?

31. Расскажите о стратиграфическом и географическом распространении угленосных отложений.

32. Как распределены запасы углей по бассейнам Казахстана и СНГ?

33. Какова краткая характеристика геологического строения и промышленных особенностей Карагандинского, Екибастузского, Майкюбенского бассейнов, месторождений Каражыра и Шубарколь?

15. ГЕОЛОГИЯ НЕФТИ И ГАЗА

15.1. Состав и свойства нефтей и газов

Нефть – жидкое полезное ископаемое, состоящее в основном из углеводородных соединений. По внешнему виду это маслянистая жидкость, чаще всего черного цвета, флюоресцирующая на свету. По химическому составу нефти из различных залежей отличаются друг от друга, поэтому практическое значение их неравнозначно. Изучение состава нефти очень важно также для решения вопросов ее геологической истории (происхождения, образования скоплений и т.д.).

Элементный состав нефтей характеризуется обязательным наличием пяти химических элементов – углерода (83–87%), водорода (12–14%), кислорода (от десятых долей процента до 1,5%), серы и азота при резком количественном преобладании первых двух – свыше 90%. Максимальное содержание остальных трех элементов может в сумме достигать 5–8% (главным образом за счет серы), но обычно оно намного меньше. Всего из нефтей выделено и идентифицировано более 500 индивидуальных химических соединений – углеводородных и гетероорганических.

В золе нефтей обнаружены никель, ванадий, натрий, серебро, кальций, алюминий, медь и др. По-видимому, указанные элементы были в составе некоторых органических соединений. Количество золы, образующейся при сжигании нефтей, невелико – обычно сотые доли процента.

Физические свойства. Измерение физических параметров нефтей позволяет определить их товарные качества. Некоторые параметры (плотность, вязкость и др.) используются при расчете и проектировании разработки месторождений, нефтепроводов, транспортирования нефти и т.д. В геологии из физических параметров наибольшее значение имеют плотность, вязкость, оптическая активность, люминесценция и некоторые другие.

Плотность нефти определяется ее массой в единице объема. Единица плотности в СИ – кг/м^3. На практике пользуются относительной плотностью, которая представляет собой отношение плотности нефти при температуре 20°С к плотности воды при 4°С. Относительная плотность нефтей чаще всего колеблется в пределах 0,82–0,92.

Температура застывания и плавления различных нефтей неодинаковая. Обычно нефти в природе встречаются в жидком состоянии, однако некоторые из них загустевают при незначительном охлаждении. Температура застывания нефти зависит от ее состава. Чем больше в ней твердых парафинов, тем выше температура ее застывания.

Вязкость – свойство жидкости (газа) оказывать сопротивление перемещению ее частиц при движении. Вязкостью определяются масштабы перемещения нефти и газа в природных условиях, ее необходимо учитывать в расчетах, связанных с добычей этих полезных ископаемых.

Электрические свойства играют особую роль. Нефти не проводят электрический ток, поэтому для обнаружения в разрезах скважин нефтеносных пластов используют электрические методы.

Теплота сгорания нефтей исключительно высокая. Для сравнения приведем данные о теплоте сгорания угля, нефти и газа, Дж/кг: каменный уголь 33 600; нефть 43 250–45 500; природный газ (сухой) 37 700-56 600.

Существуют *различные классификации нефтей*: химическая, геохимическая, товарная и технологическая. *Химическая классификация* предусматривает выделение классов нефтей по преобладанию в них той или иной группы углеводородов. Согласно этой классификации выделяют метановые, нафтеновые и ароматические нефти, а также переходные (метано-нафтеновые, нафтено-метановые и др.). *Геохимическая классификация* учитывает не только химический состав нефтей, но и геологический возраст отложений, из которых получена нефть, глубину залегания этих отложений и другие признаки. *Товарная и технологическая классификации*, близкие между собой, строятся по таким показателям, как содержание фракций, выкипающих при температуре до 350°С, а также парафина, масел и др.

Например, все нефти по содержанию серы делятся на три класса: I – малосернистые (не более 0,5%); II – сернистые (0,51—2%); III – высокосернистые (более 2%), а по содержанию парафина – на три вида: $П_1$ – малопарафиновые (не более 1,5%), $П_2$ – парафиновые (1,51–6%), $П_3$ – высокопарафиновые (более 6%).

Газ. Углеводородные газы, генерируемые в осадочной оболочке коры, могут находиться в различных состояниях: свободном, растворенном и твердом. В свободном состоянии они образуют газовые скопления промышленного значения. Углеводородные газы хорошо растворимы в подземных водах и нефтях. Газы газовых скоплений представлены в основном метаном (до 98,8%) с примесью его гомологами, а также неуглеводородных компонентов: углекислого газа и сероводорода. Газы, растворенные в *нефтях,* называются попутными нефтяными газами.

Физические свойства. Химический состав природного газа определяет его физические свойства. Основными параметрами, характеризующими физические свойства газов, являются: плотность, вязкость, критические давление и температура, диффузия, растворимость и др.

Растворимость углеводородных газов в нефти примерно в 10 раз больше, чем в воде.

Конденсат – жидкая часть газоконденсатных скоплений, плотность их 698–840 кг/м^3, практически полностью выкипают до 300°С и не содержат смолисто-асфальтовых веществ. Основные компоненты конденсата выкипают до 150–200°С. В составе конденсатов преобладают метановые углеводороды. Конденсат называют также светлой нефтью.

15.2. Породы, содержащие нефть и природные газы

Породы-коллекторы. Горные породы, обладающие способностью вмещать нефть, газ и воду и отдавать их при разработке называются *коллекторами.* Коллекторами нефти и газа являются как терригенные (пески, алевриты, песчаники, алевролиты и некоторые глинистые породы), так и карбонатные (известняки, мел, доломиты) породы.

Из определения пород-коллекторов следует, что они должны обладать емкостью, т.е. системой пустот – пор, трещин и каверн. Однако далеко не все породы, обладающие емкостью, являются проницаемыми для нефти и газа, т.е. коллекторами. Поэтому при изучении коллекторских свойств горных пород определяют не только их пустотность, но и проницаемость. Емкость порового коллектора называется *пористостью* (рис. 15.1).

Различают общую, открытую и эффективную пористость. Общая (полная, абсолютная) пористость – объем всех пор в породе. Соответственно коэффициент общей пористости k_n педставляет собой отношение объема всех пор V_1 к объему образца породы V_2, т. е. $k_n = V_1 / V_2$. При промышленной оценке залежей нефти и газа принимается во внимание *открытая* пористость – объем только тех пор, которые сообщаются между собой. Она характеризуется коэффициентом открытой пористости $к_{п.о.}$ – отношением суммарного объема открытых пор V_o к объему образца породы V_2, т.е. $к_{п.о.} = V_o / V_2$.

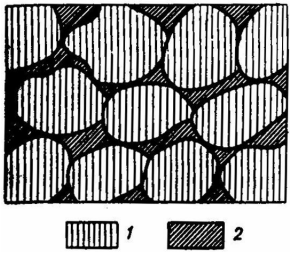


Рис. 15.1. Поровое пространство в горной породе: *1*–минеральные зерна; *2*–поровое пространство породы, занятое жидкостью или газом

В нефтяной геологии понятие *эффективной пористости* определяется наличием таких пор, из которых нефть может быть извлечена при разработке. Коэффициент *эффективной пористости* нефтесодержащей породы $k_{п.эф}$ равен отношению объема пор $V_{эф}$, через которые возможно движение нефти, воды или газа при определенных температуре и градиентах давления к объему образца породы: $k_{п.эф} = V_{эф} / V_{2.}$

С глубиной залегания пористость горных пород обычно уменьшается (табл. 15.1).

Таблица 15.1

Гравитационное уплотнение глинистых осадков по данным опорных скважин (по *Н.Б. Вассоевичу*)

Глубина залегания, м	Пористость пород, %
500-600	35
1000	28
1500	23
2000	19
2500	13
3000	10
3500	6,5-7
5000	3,5-3,7

Уменьшение пористости сопровождается отжиманием воды из глинистых пластов в песчаные. Обычно горные породы гидрофильны, т.е. смачиваются водой, а не нефтью. Вода постепенно впитывается в мельчайшие поры глин, заполненные нефтью и газом, и вытесняет из них нефть и газ в более крупные поры коллекторов.

Вытеснение воды из глинистых осадков с возрастанием давления может иметь место только тогда, когда глинистые осадки чередуются с песчаниками. Песчаники, чередующиеся с глинами, играют роль естественных ”фильтропрессов“. При мощных толщах глин, в которых нет песчаных пропластков, воде некуда отжиматься, и она остается в глинах.

Анализ кернового материала показал, что в природных условиях вода, нефть и газ могут отжиматься из почти непроницаемых глин во вмещающие их песчаники. Миграция нефти и газа из глинистых пород в пористые называется *первичной миграцией*. Движение нефти с водой вдоль пласта называется *вторичной* или *латеральной миграцией*. Нефть, которая сформировала залежи в породах, образовавшихся одновременно с нефтью, называется *сингенетической*. Залежи сингенетической нефти часто называются еще *первичными залежами* (по И.М. Губкину)

В случае наличия мелкой трещиноватости или крупного наруше-

ния в породах, перекрывающих первичную залежь или нефтематеринскую породу, нефть и газ под действием давления перемещаются по трещинам в зоны меньшего давления. Такая миграция нефти и газа называется *вертикальной миграцией*. При этом нефть и газ будут распространяться в ту или иную сторону от трещиноватой зоны вдоль коллектора, образуя в нем *вторичные залежи* нефти и газа. (И.М. Губкина).

Проницаемость – важнейший показатель коллектора, характеризующий свойство породы пропускать жидкость и газ. За единицу проницаемости (1 мкм^2) принимается проницаемость такой породы, при фильтрации через образец, который площадью 1 м^2 и длиной 1 м при перепаде давления 0,1 МПа расход жидкости вязкостью 1 мПас составляет 1 м^3/с. Проницаемость нефтеносных песчаников изменяется в широком диапазоне – от 0,05 до 3 мкм^2, трещиноватых известняков – от 0,005 до 04 мкм^2. Она зависит от размера и конфигурации пор (величины зёрен), от плотности укладки и взаимного расположения частиц, от трещиноватости пород.

При разработке месторождений применяют методы искуственного увеличения пористости и проницаемости путем гидроразрыва пласта и воздействия на него соляной кислотой, что приводит к разрушению перегородок между порами и расширению трещин.

Изучение коллекторских свойств пластов проводится по образцам керна, материалам промыслово-геофизических исследовнии и по данным испытания скважин на приток.

Породы-флюидоупоры (покрышки). Сохранение скоплений нефти и газа в породах-коллекторах возможно, если они будут перекрыты непроницаемыми для флюидов (нефти, газа и воды) породами. Перекрывающие нефтяные и газовые залежи плохопроницаемые породы называют покрышками. Роль пород-нефтегазоводоупоров выполняют глины, соли, гипсы, ангидриты и некоторые разновидности карбонатных пород.

Наиболее широко распространены глинистые покрышки. Известно, например, что монтмориллонитовые глины обладают лучшими экранирующими свойствами по сравнению с каолинитовыми. Надежным экраном является каменная соль, которая благодаря своей пластичности деформируется без нарушения сплошности.

Чем больше мощность покрышки, тем выше ее изолирующие качества и способность удерживать залежи с большими высотами. На больших глубинах вследствие потери воды глинистые породы превращаются в хрупкие тела и могут стать породами-коллекторами.

15.3. Природные резервуары и ловушки

В земной коре вместилищем для нефти, газа и воды служат породы-коллекторы. И.О. Брод предложил называть *природными резервуарами* естественные вместилища для нефти, газа и воды, внутри которых эти флюиды могут циркулировать и форма которых обусловлена соотношением коллектора с вмещающими его непроницаемыми породами. Выделяются три основных типа природных резервуаров: пластовые (рис. 15.2) , массивные и литологически ограниченные со всех сторон.

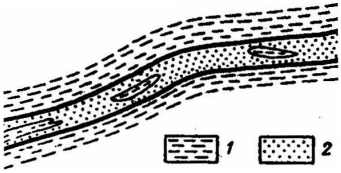


Рис. 15.2. Пластовый природный резервуар:
1 – глины; 2 – песчаники

Наличие трещиноватости в породах-флюидоупорах снижает их экранирующие свойства. Например, в зонах региональных разломов первоначальные пластичные свойства глин и солей утрачиваются, они становятся хрупкими, с раскрытыми трещинами и могут пропускать флюиды.

Около 80 % залежей в мире связано с ловушками структурного класса, на долю ловушек иного происхождения (рифогенных, стратиграфических и литологических) приходится немного более 20 %.

Связь нефти и газа с антиклинальными структурами была установлена еще в XIX в. Г.В. Абихом, Г.А. Романовским, Уайтом и др. Тогда же была сформулирована антиклинальная теория залегания нефти.

15.4. Залежи нефти и газа

Залежь нефти и газа представляет собой естественное локальное (единичное) скопление нефти и газа в ловушке. Она образуется в той части резервуара, в которой устанавливается равновесие между силами, заставляющими нефть и газ перемещаться в природном резервуаре, и силами, которые препятствуют этому.

Элементы залежи. Газ, нефть и вода располагаются в ловушке в соответствии с их плотностью. Газ, как наиболее легкий, находится в кровельной части природного резервуара под покрышкой. Ниже поровое пространство заполняется нефтью, а еще ниже – водой (рис. 15.3).

Поверхности контактов газа и нефти, воды и нефти называются

поверхностями соответственно газонефтяного (ГНК) и водонефтяного (ВНК) контактов. Линия пересечения поверхности ВНК (ГНК) с кровлей продуктивного пласта называется *внешним контуром нефтеносности (газоносности).* Если поверхность контакта горизонтальная, то контур нефтеносности (газоносности) в плане параллелен изогипсам кровли пласта.

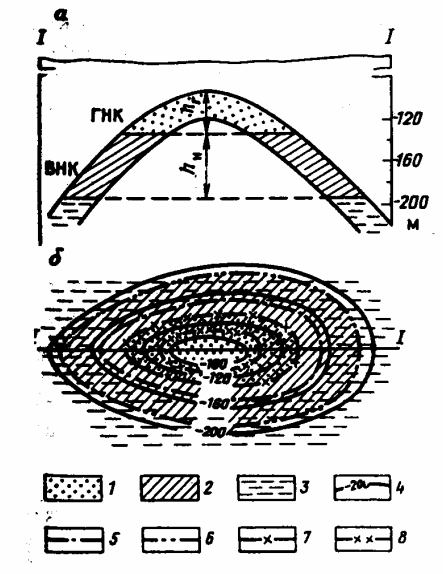


Рис. 15.3. Принципиальная схема сводовой залежи:
а–геологический разрез;
б–структурная карта; 1–газовая шапка; 2–нефтяная часть залежи; 3–водоносная часть пласта; 4–изогипсы по кровле пласта, м; контуры нефтеностности: 5–внутренний; 6–внешний; контуры газоносности: 7–внешний; 8–внутренний; $h_г$ –высота газовой шапки; $h_н$ –высота нефтяной части залежи; $h_г + h_н = h$–высота залежи

При наклонном положении поверхности ВНК (ГНК) контур нефтеносности (газоносности) на структурной карте будет пересекать изогипсы кровли пласта, смещаясь в сторону наклона поверхности раздела (рис. 15.4).

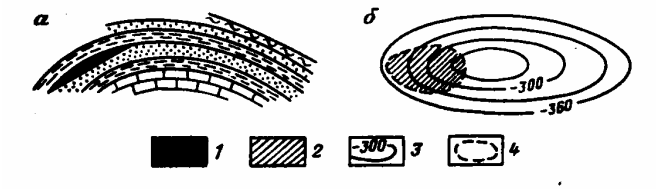


Рис. 15.4. Принципиальная схема нефтяной залежи с наклонным водонефтяным контактом: *а*–геологический разрез; *б*–структурная карта;
1,2–нефть соответственно на разрезе и на карте; *3*–изогипсы, м;
4–внешний контур нефтеносности

Линия пересечения поверхности водонефтяного (газонефтяного) раздела с подошвой пласта называется *внутренним контуром нефтеносности (газоносности).* Если в ловушке количество нефти и газа недостаточное для заполнения всей мощности пласта, то внутренние контуры газоносности и нефтеносности будут отсутствовать. У залежей в массивных резервуарах внутренние контуры отсутствуют.

Длина, ширина и площадь залежи определяются по ее проекции на горизонтальную плоскость внутри внешнего контура нефтеносности (газоносности). Высотой залежи (высота нефтяной части залежи плюс высота газовой шапки) называется вертикальное расстояние от подошвы до ее наивысшей точки.

15.5. Классификация залежей нефти и газа

Согласно классификации А.А. Бакирова, учитывающей главнейшие особенности формирования ловушек, с которыми связаны залежи, выделяются четыре основных класса локальных скоплений нефти и газа.

Класс структурных залежей. К этому классу относятся залежи, приуроченные к различным видам локальных тектонических структур. Наиболее часто встречающиеся залежи этого класса – сводовые, тектонически экранированные и приконтактные. *Сводовые залежи* формируются в сводовых частях локальных структур. *Тектонически экранированные* залежи формируются вдоль разрывных смещений, осложняющих строение локальных структур. Подобные залежи могут находиться в различных частях структуры: на своде, крыльях или периклиналях. *Приконтактные* залежи образуются в продуктивных пластах, контактирующих с соляным штоком, глиняным диапиром или же с вулканогенными образованиями.

Класс литологических залежей. В составе этого класса выделяются две группы залежей: литологически экранированных и литологически ограниченных. *Залежи литологически экранированные* располагаются в участках выклинивания пласта-коллектора. Залежи *литологически ограниченные* приурочены к песчаным образованиям ископаемых русел палеорек (шнурковые или рукавообразные), к прибрежным песчаным валоподобным образованиям или к гнездообразно залегающим породам-коллекторам, окруженным со всех плохопроницаемыми породами.

Класс рифогенных залежей. Залежи этого класса образуются в теле рифовых массивов.

Класс стратиграфических залежей. Формирование этого класса

происходило в пластах-коллекторах, срезанных эрозией и стратиграфически несогласно перекрытых непроницаемыми слоями более молодого возраста.

15.6. Формирование нефтегазовых залежей и нефтегазовых территорий

Происхождение нефти и газа

Происхождение нефти и газа по существу служит научной основой производства всего поисково-разведочного процесса, обеспечивающего запасами планируемые уровни добычи углеводородного сырья.

Существует два принципиально различных подхода к решению этой проблемы: согласно одной концепции, исходным материалом для образования промышленных скоплений углеводородов (УВ) является органическое вещество (ОВ) биосферы (теория биогенного или органического происхождения), другая предполагает неорганическое (абиогенное) их происхождение. Многие вопросы генезиса нефти и газа до сих пор окончательно не решены.

Геологический материал, накопленный за более чем вековую историю промышленного освоения углеводородных ресурсов, а также широкий спектр геохимических лабораторных исследований для подавляющего большинства специалистов научных и производственных организаций служат убедительным доказательством *биогенного происхождения* нефти и углеводородных газов.

Начало целенаправленной разработки идеи об органическом происхождении нефти было положено более двухсот лет назад М.В. Ломоносовым, предложившим гипотезу об образовании нефти в результате подземной перегонки содержащегося в породах органического вещества (уголь, торф). Отдельные аспекты современной теории биогенного генезиса нефти и газа формируются в трудах советских (Н.И. Андрусов, А.Д. Архангельский, Н.Д. Зелинский, В.И. Вернадский, И.М. Губкин, Г.П. Михайловский) и зарубежных (Ф. Ван-Тайл, Г. Гефер, Г. Потонье, П. Траск, Д. Хант, К. Энглер и др.) ученых в конце XIX и в начале XX столетия. Однако биогенная концепция как целостная теория происхождения нефти и газа сформулирована И.М. Губкиным в его работе «Учение о нефти» (1932 г.). При этом следует подчеркнуть, что он рассматривал эту проблему не изолированно, как самостоятельное явление, а комплексно, в совокупности со всеми естественно-историческими процессами Земли, являющимися составными частями геологической формы движения материи.

Концепцию неорганического происхождения нефти и газа пред-

ложили в начале XIX в. Гумбольдт и др. Позднее М. Вертело, А. Биассон (1866 г.), С. Клоэц (1878 г.) предложили гипотезы, разработанные на основе проведенных лабораторных исследований по неорганическому синтезу углеводородов. Д.И. Менделеев в книге «Основы химии», опубликованной в 1877 г. сформулировал ставшую широко известной «карбидную гипотезу». Согласно этой гипотезе по трещинам в земной коре в глубинные недра проникает атмосферная вода, которая вступает в реакцию с карбидом железа и, взаимодействуя с углеродом, образует предельные и непредельные углеводороды. Эти углеводороды также по трещинам, развитым вдоль горных сооружений, поднимаются в осадочную толщу и скапливаются в виде залежей нефти. Свои предположения Д.И. Менделеев подкрепил, получив жидкую углеводородную смесь при обработке марганцовистого чугуна (с 8 %-ным содержанием углерода) соляной кислотой.

В настоящее время развивается *космическая гипотеза*, основанная на повышенном содержании соединений углеводородного ряда и в других планетах Солнечной системы.

Вертикальная зональность углеводородов в осадочных породах

Наиболее полно новейшие исследования по генезису нефти отражены в схеме Н.Б. Вассоевича. Согласно этой схеме нефть с генетической точки зрения является жидким продуктом преобразования в недрах осадочных бассейнов органического вещества сапропелевого типа, содержащегося в горных породах, первоисточником которого были остатки низших организмов. Нефтеобразование рассматривается как процесс, тесно связанный с литогенезом. По Н.Б. Вассоевичу, термолиз и термокатализ органического вещества достигают значительных масштабов в интервале глубин 2–5 км, где температура изменяется от 50–60° до 130–170°С.

Первую графическую схему изменения интенсивности образования углеводородов с глубиной опубликовал В.А. Соколов в 1948 г. (рис. 15.5). В толще осадочных образований он выделил три зоны. В верхней зоне (до глубины 50 м), которую он назвал *биохимической,* происходят лишь биохимические процессы преобразования ОВ. Они приводят к образованию CH_4 и CO_2. В средней зоне (интервал 1000–6000 м) активно развиваются процессы гидрогенизации и термокаталитических превращений ОВ пород. Эти процессы приводят к интенсивному образованию УВ. В нижней зоне, при погружении отложений на глубины более 6000 м, образуется в основном метан. Нижнюю и среднюю зоны В.А. Соколов назвал *термокаталитическими.*

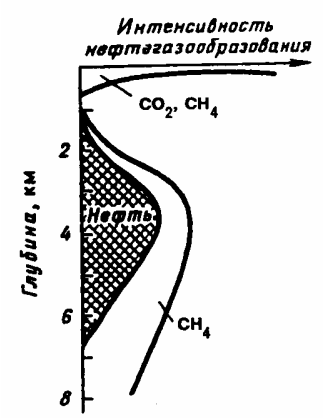


Рис. 15.5. Интенсивность нефтегазообразования в осадочных породах по мере их погружения (по *В.А. Соколову*)

Интенсивность генерации УВ можно выразить через количество УВ, которое образуется в единице объема материнских пород за геологический отрезок времени. Опубликованные данные показывают, например, что средняя интенсивность генерации газообразных УВ в термоката-литических зонах за какой-либо геологический этап погружения материнских пород чрезвычайно низкая и не превышает $n10^{-1}$ м^3/м^3 млн лет.

Понятия о нефтегазоматеринских отложениях и нефтегазоносных комплексах

Одним из важных вопросов при прогнозировании нефтегазоносности исследуемых территорий является выделение в разрезе *нефтепродуцировавших* (нефтегазоматеринских) толщ и регионально нефтегазоносных комплексов. Нефтегазоматеринские отложения накапливаются в субаквальной среде с анаэробной геохимической обстановкой в условиях относительно устойчивого погружения бассейна седиментации. Они содержат в повышенных концентрациях (0,5–5 %) органическое вещество, в котором присутствуют сингенетичные УВ. Породы с содержанием ОВ ниже 0,5 % даже при максимальной глубине погружения продуцируют очень малое количество УВ (менее 200 г/м^3), недостаточное для образования промышленных скоплений нефти и газа.

В каждой нефтегазоносной провинции выделяются *нефтегазоносные комплексы,* в которых сосредоточена основная масса выявленных в данной провинции ресурсов УВ. В зависимости от характера распространения нефтегазоносные комплексы подразделяются на *региональные, субрегиональные, зональные* и *локальные.*

Миграция нефти и газа. Под *миграцией* нефти или газа понима-

ется перемещение их в осадочной оболочке. Путями миграции служат поры и трещины в горных породах, а также поверхности наслоений, разрывных нарушений и стратиграфических несогласий, по которым нефть и газ не только мигрируют в земной коре, но и могут выходить на поверхность.

По отношению к нефтегазоматеринским толщам различают первичную и вторичную миграцию. Процесс перехода УВ из пород, в которых они образовались (нефтегазопродуцировавших), в коллекторы получил название *первичной* миграции. Миграция газа и нефти вне материнских пород называется *вторичной* миграцией (рис. 15.6).

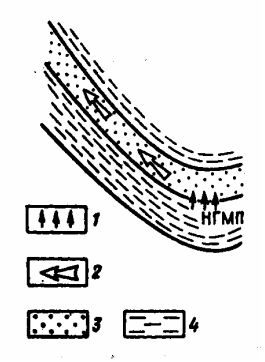


Рис. 15.6. Схема первичной и вторичной миграции:
1 – миграция первичная; 2 – то же вторичная;
3 – коллектор; 4 – нефтегазоматеринские породы

Проблема миграции нефти и газа включает три основных вопроса: факторы, вызывающие миграцию; состояние, в котором флюиды перемещаются; масштабы (расстояния) миграции.

Современные представления о факторах *первичной* миграции и состояний мигрирующих УВ заключаются в эмиграции нефтяных УВ в виде газового раствора и в явлении диффузии. *Вторичная* миграция нефти и газа может быть обусловлена гравитационным, гидравлическим и другими факторами.

По *масштабам движения (расстояниям)* миграция разделяется на региональную, контролируемую соотношениями в пространстве зон нефтегазообразования и зон нефтегазонакопления, и локальную, контролируемую отдельными структурами и различными осложнениями (разрывными смещениями, литологическими и стратиграфическими экранами).

Скорость миграции УВ будет не меньше, чем воды. Максимальные вертикальные расстояния, на которые вторично мигрирует газ с пластовыми водами, соизмеримы с протяженностью артезианских бассейнов и могут достигать нескольких сот км. Максимальные верти-

кальные расстояния, на которые мигрирует газ в диффузионном потоке, определяются диффузионной проницаемостью пород и временем этого процесса. По современным представлениям, эти расстояния превышают 10 км.

При вертикальном (межпластовом) перетоке газа и нефти (например, по разрывным смещениям) из нижележащей залежи или при латеральной миграции их из одной ловушки в другую (в том же природном резервуаре) расстояния миграции будут контролироваться той геологической обстановкой, в которой осуществляется перемещение струи газа и жидкой нефти. Они будут зависеть от мощности толщи пород, которая отделяет первичную залежь (нижележащую) от вторичной (образованной в результате вертикального перетока), либо будут определяться расстояниями, отделяющими смежные ловушки одного и того же резервуара.

Формирование и разрушение залежей нефти и газа

Формирование залежей нефти и газа. Нефть и газ при миграции в свободной фазе перемещаются в пласте-коллекторе в направлении максимального угла восстания пласта. В первой же ловушке, встреченной мигрирующими газом и нефтью, будет происходить их аккумуляция и в результате образуется залежь. Если нефти и газа достаточно для заполнения целого ряда ловушек, лежащих на пути их миграции, то первая ловушка заполнится газом, вторая может быть заполнена нефтью и газом, третья – лишь нефтью, а все остальные, расположенные гипсометрически выше, могут оказаться пустыми (содержать воду). В этом случае происходит так называемое *дифференциальное улавливание* нефти и газа.

Миграция нефти и газа в свободном состоянии может осуществляться не только внутри пласта-коллектора, но и через разрывные смещения, что также приводит к формированию залежей.

Если в пласте-коллекторе происходит движение нефти с растворенным в ней газом, то на больших глубинах ловушки будут заполнены нефтью (и растворенным в ней газом). После заполнения ловушек нефть будет мигрировать вверх по восстанию пластов. На участке, где пластовое давление окажется ниже насыщения, газ будет выделяться из нефти в свободную фазу и поступать вместе с нефтью в ближайшую ловушку. В этой ловушке может образоваться нефтяная залежь с газовой шапкой или, если газа будет много, она заполнится газом, а нефть будет вытеснена им в следующую гипсометрически выше расположенную ловушку, которая будет содержать газонефтяную или нефтяную залежь. Если нефти или газа не хватит для заполнения всех ловушек, то наиболее высоко расположенные из

них будут заполнены только водой.

Формирование залежей происходит не только при *латеральной (внутрирезервуарной)* миграции газа и нефти. Аккумуляция УВ имеет место и при *вертикальной (межрезервуарной)* их миграции. Важно подчеркнуть и другое: в латеральном и в вертикальном направлениях УВ могут мигрировать в *рассеянном* виде.

Интенсивность формирования первичных залежей (из рассеянных углеводородов), по опубликованным данным, составляет $n\ 10^{-13}$ кг/ ($м^2$ с). Скорость накопления нефти при формировании вторичных залежей в результате струйной вертикальной миграции, по данным И.В.Высоцкого, составляет от 12 до 700 т/год.

Процессы миграции и аккумуляции нефти и газа происходят в изменяющейся геологической обстановке. В одних случаях формируются первичные залежи – из рассеянных углеводородов, в других вторичные – за счет УВ расформировавшихся первичных залежей.

Разрушение залежей нефти и газа. Скопления нефти и газа, образованные в результате миграции и аккумуляции их в ловушках, в последующем могут быть частично или полностью разрушены под влиянием тектонических, биохимических, химических и физических процессов.

Изучение процессов формирования и разрушения залежей нефти и газа имеет большое значение, так как позволяет целенаправленно вести поисково-разведочные работы на нефть и газ, разрабатывать и совершенствовать методы их поисков.

15.7. Классификация нефтегазоносных территорий

На земном шаре известно примерно 35000 месторождений нефти, газа и битумов, открытых на всех континентах Земли (кроме Антарктиды) и во многих омывающих их морях и океанах. Однако выявленные залежи УВ в пределах нефтегазоносных территорий распределены крайне неравномерно как по площади, так и по разрезу осадочных отложений, что является главной геологической особенностью размещения нефти и газа. Например, значительные концентрации ресурсов нефти и газа установлены на Ближнем и Среднем Востоке (Саудовская Аравия, Ирак, Иран, Кувейт и др.), в Северной Африке (Ливия, Алжир), в Мексиканском заливе, Северном море, России (Западная Сибирь, Урало-Поволжье) и в других регионах. В то же время известно громадное количество мелких и средних местоскоплений.

Основываясь на тектоническом принципе, А.А.Бакиров в качестве основных единиц нефтегазогеологического районирования реко-

мендует выделять в платформенных и складчатых территориях нефтегазоносные провинции, области и зоны нефтегазонакопления.

Нефтегазоносные провинции, области и зоны нефтегазонакопления относятся к *региональным,* а месторождения (местоскопления) и залежи – к *локальным* скоплениям нефти и газа.

Вертикальная и региональная зональность в размещении залежей нефти и газа

Анализ размещения запасов жидких и газообразных УВ в СНГ и за рубежом показывает, что верхние части разреза (до глубины 1,2–1,5 км) содержат преимущественно скопления газа, на глубинах 1,5–3,5 км запасы газа сокращаются и увеличиваются запасы жидких УВ. Далее с ростом глубины (более 4–5 км) вновь происходит увеличение запасов газообразных УВ и уменьшение запасов нефти. Как правило, в нижней газовой глубине (более 4– 5 км) наряду с газом встречается нефть, растворенная в газе (газоконденсатные залежи).

Наряду с вертикальной зональностью в размещении скоплений нефти и газа наблюдается региональная (геоструктурная) зональность. Основными факторами образования региональной зональности являются состав исходного ОВ, геохимическая и термодинамическая обстановка и условия миграции и аккумуляции УВ.

15.8. Нефтегазогеологическое районирование Казахстана

В Казахстане выявлено и разведано более 210 месторождений нефти и газа, в том числе 102 нефтяных, 29 газоконденсатных, 33 нефтегазоконденсатных, 6 нефтегазовых, 11 газоконденсатных, 19 газовых. Разведанные *извлекаемые запасы нефти составляют около 4,4 млрд. т (3,2 % мировых), газа – 2,0 трлн. м^3 (1,5 %), конденсата – 0,7 млрд. м^3*. Прогнозные ресурсы Казахстана по нефти оцениваются свыше 17 млрд. т, в том числе на суше – 7 млрд. т, на море – более 10 млрд. т; прогнозные ресурсы газа – 146,4 трлн. м^3 (Б.С. Ужкенов, 2004 г.).

Основная часть разведанных запасов нефти и газа сосредоточена в Прикаспийский нефтегазоносной провинции. Здесь открыто 122 месторождения, которые содержат 80% запасов углеводородов Казахстана (*1,3 млрд. т нефти, около 700 млн. т конденсата, 1,7 млрд. м^3 свободного и 577 млрд. м^3 растворенного газа*). Доля региона в общереспубликанской добыче составляет по нефти и конденсату 44%, по газу 49%. Здесь находятся такие уникальные месторождения нефти и газоконденсата, как Тениз, Карашиганак и Кашаган (на шельфе Каспийского моря), их суммарная доля общем балансе добычи нефти и газа составляет более 30%.

В Южно-Мангистауском и Северо-Устюртско-Бозашинском регионе наиболее крупными месторождениями являются Узень, Жетыбай, Каражанбас, Северное Бозаши. В общем республиканском балансе добычи углеводородов доля этого региона равна около 50%.

Промышленные запасы нефти устанавлены в Южно-Торгайском нефтегазоносном бассейне (месторождения Кумколь, Майбулак, Ащисай, Арыскум и др). Здесь разведано 11 месторождений, крупным является месторождение Кумколь (разрабатывается с 1990 г.) Доля этого региона в добыче нефти составляет около 10%.

Следует подчеркнуть, что доля запасов крупных месторождений (*Тениз, Узень, Карачаганак, Жетысай, Каламкас, Жанажол, Каражанбас, Кумколь*), дающих основную добычу нефти в республике, составляет 80%. Доля других разрабатываемых месторождений – 11%, остальные запасы сосредоточены в подготовленных и разведываемых месторождениях.

По конденсату на месторождение Карачаганак приходится 91% всех запасов. Аналогичная картина и с запасами газа (Куандыков, 1994).

Промышленная газоносность установлена также в Шу-Сарысуской впадине. Здесь открыты месторождения Айракты, *Амангельды,* Придорожное и др. Разведанные и оцененные запасы свободного газа составляют около 30 млрд $м^3$.

Высоко оцениваются нефтегазоносные перспективы и других бассейнов Казахстана (*Тенизская, Сырдарьинская, Восточно-Аральская, Зайсанская, Прииртышская, Алакольская, Илийская впадины, Северо-Казахстанское погружение*), а также площади Каспийского шельфа и акватория Аральского моря. Нефтегазопоисковые работы в названных регионах только начинаются. Перспективы республики на нефть и газ далеко не исчерпаны.

На территории Казахстана развита группа осадочных бассейнов, различающихся по геологическому строению, стратиграфическому диапазону платформенного чехла и нефтегазоносности (рис. 15.7).

Переоценка прогнозных ресурсов нефти и газа Казахстана последний раз производилась в 1988 г.

На новой дополнительной фактологической основе (результаты современных геохимических исследований нефтей и пород; использование теоретических положений тектоники плит, седиментологии, сейсмостратиграфии и т.д.) в 2000 г. была завершена работа над «Картой прогноза нефтегазоносности Казахстана».

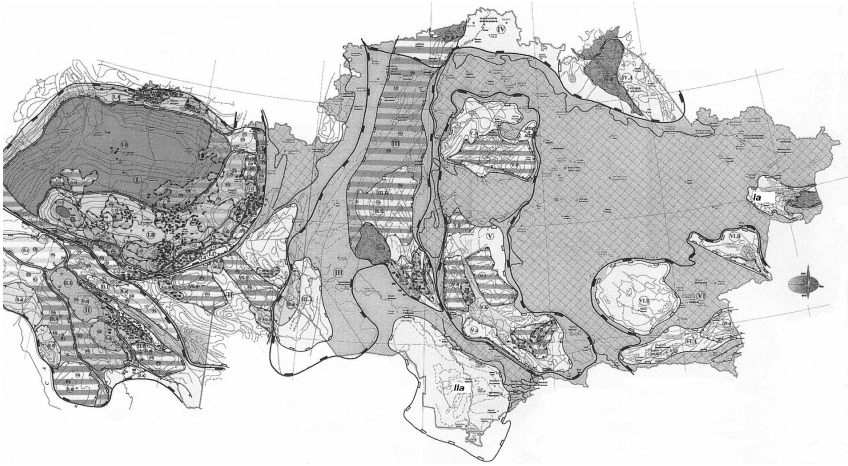


Рис. 15.7. Карта прогноза нефтегазоносности Казахстана (Э.С. Воцалевский и др., 2000). *Нефтегазоносные провинции (НГП)*: I–Прикаспийская; II–Северо-Кавказско-Мангистауская; III–Арало-Торгайская; IV–Тениз-Шуская; V–Западно-Сибирская (Казахстанская часть); VI–Алаколь-Илийская. *Перспективные нефтегазоносные области*: *Ia*–Зайсанская; *IIa*–Сренесырдарьинская. *Осадочные бассейны*: 1–Прикаспийский; 2–Устюрт-Бозашинский; 3–Южно-Мангистауский; 4–Аральский; 5–Северо-Торгайский; 6–Южно-Торгайский; 7–Шу-Сарысуский; 8–Сырдарьинский; 9–Тенизский; 10–Северо-Казахстанский; 11–Прииртышский; 12–Западно-Илийский; 13–Восточно-Илийский; 14–Балхашский; 15–Лепсинский; 16–Алакольский; 17–Зайсанский; 18–Кегено-Текесский

На прогнозной карте показано положение 202 месторождений нефти и газа, описанных в «Справочнике месторождений нефти и газа Казахстана» (1999 г.). Согласно принятой схеме на карте выделены следующие элементы нефтегазогеологического районирования:

1) нефтегазоносные провинции (НГП);
2) нефтегазоносные области (НГО);
3) нефтегазоносные районы (НГР);
4) нефтегазоносные зоны (НГЗ);
5) нефтяные месторождения в палеозойском продуктивном комплексе (НМПК);
6) нефтяные месторождения в мезозойском продуктивном комплексе (НММК);
7) газовые и газоконденсатные месторождения (ГМ и ГКМ);
8) нефтегазовые и нефтегазоконденсатные месторождения (НГМ и НГКМ)

К настоящему времени установлена промышленная нефтегазоносность Прикаспийского, Мангыстау-Устюртского, Шу-

Сарысуского и Южно-Торгайского осадочных бассейнов и начаты поисковые работы в перспективном Приаральском районе. Стратиграфический диапазон доказанной нефтегазоносности охватывает в различных бассейнах от среднего девона до неогена включительно. По принятой схеме нефтегазогеологического районирования осадочные бассейны разделяются в следующие нефтегазоносные провинции (НГП) и области:

1. Прикаспийская НГП
2. Северо-Кавказско-Мангистауская НГП
3. Арало-Торгайская НГП
4. Тениз-Шуская НГП
5. Западно-Сибирская НГП (Казахстанская часть)
6. Алаколь-Илийская перспективно-НГП
7. Северо-Устюртская НГО
8. Среднесырдарьинская перспективно-ГО

Прикаспийская впадина – одна из важнейших НГП мира. Она имеет уникальное геологическое строение и богатейший нефтегазоносный потенциал. На начало 2002 года в Казахстанской части Прикаспийской впадины выявлено 128 месторождений УВ с различными сочетаниями нефти, газа и конденсата.

Среди выявленных месторождений 92 связано с надсолевыми и 36 – с подсолевыми отложениями.

Доказанная промышленная нефтегазоносность охватывает необычайно широкий стратиграфический диапазон осадочного чехла, включающий D, C, P, T, J, K, P и N комплексы.

Крупнейшие и гигантские по запасам месторождения приурочены к карбонатным отложениям докунгурского палеозоя. В надсолевом комплексе основная нефтегазоносность связана с T, J и K_1 песчано-алевролитовыми пластами и пачками:

– месторождения Северо-западной области: Карачаганак, Западно-Тепловское, Каменское;

– месторождения Центральной области: Шингиз, Дараймола, Матин, Болганмола;

– месторождения Астраханско-Актюбинской области: Имашевское, Забурунье, Новобогатинское Юго-Восточное, Камышитовое, Юго-Западное, Тенгиз, Кульсары, Кенбай (Котыртас Северный и Молдабек Восточный), Каратюбе, Кенкияк;

– месторождения Заволжско-Предуральской области: Каражанбас, Каламкас, Толкын, Равнинное, Жанажол, Урихтау, Лактыбай, Жанатан.

Нефтегазогеологическое районирование. В пределах Прикаспийской НГП по подсолевому мегакомплексу выделяются четыре

НГО: Северо-Западная прибортовая (СЗП НГО), Центрально-Прикаспийская (ЦП НГО), Астраханско-Актюбинская (АА НГО), Заволжско-Предуральская (ЗП НГО).

В целом по Прикаспийской НГП выделено в надсолевом мегакомплексе 7 районов и 18 зон. В число 7 НГР входят: Приморско-Астраханский, Маткен-Коздысайский и Темиртауский (АА НГО), а также Бозалинский, Сазтобе-Сарыбулакский (Ортатауский), Жанажол-Торткольский и Предуральский (ЗП НГО).

В надсолевом мегакомплексе в региональном плане выделяется 7 зон: Азгирская, Жамбай-Забурунская, Мартышинская, Каратон-Прибрежная, Боранколь-Провинская, Сагизская, Акжар-Шубаркдукская.

Наиболее крупные открытия прогнозируются в акватории Каспийского моря.

Северо-Кавказско-Мангистауская НГП

Указанная НГП протягивается с запада на восток от Крымского полуострова до южного Устюрта включительно, а с юга на север – от северного склона большого Кавказа до нижней Волги и прогибов, окаймляющих Каратаускую складчатую зону.

Провинция фактически состоит из двух крупных частей: Северо-Кавказской и Мангистауской.

В пределах Казахстана НГП охватывает территорию Северного и Южного Мангистау с северным и западным склонами Карабогазского свода. Северной ее окраиной является Карпинско-Бозашинская складчато-надвиговая зона и система прогибов, окаймляющая Каратауско-Центрально-Устюртскую складчато-надвиговую зону. На востоке и юге она ограничена государственной границей Казахстана с Узбекистаном и Туркменией, а на западе – срединной линией Каспия.

Большая нефть Казахстана началась именно с Мангистау. 40 лет назад были открыты и освоены крупнейшие месторождения Жетыбай и Узень (это событие, т. е. 40-летие Узени, отмечали 3-4 сентября 2004 г.), а в последующие годы были открыты еще ряд значительных по запасам нефти и газа месторождений.

В пределах Казахстана выделяются: Мангистауская НГО, Западно-Мангистауско-Прикумская НГО, Прикарабогазский район.

В Казахстанской части НГП выявлено 41 месторождение нефти и газа:

– месторождения Мангистауской НГО: Тюбешик, Жетыбай, Узень, Тенге, Тасбулат;

– месторождения Западно-Мангистауско-Прикумской НГО: Дунга, Алатобе, Оймаша, Ракушечное, Северное Карагие;

– месторождения Прикарабогазского района: Аламурын Южный, Тамды.

Нефтегазогеологическое районирование. В Казахстанской части провинции по характеру геологии и нефтегазоносности выделяются четыре нефтегазоносных области: Терско-Каспийская, Западно-Мангистауская-Прикумская, Мангистауская и Южно-Бозашинская.

Северо-Устюртская НГО

Это НГО выделяется в качестве самостоятельного элемента нефтегазогеологического районирования, расположенного в пределах Казахстана и Узбекистана. Северо-западной ее границей Устюрт от Прикаспийской впадины по верхнепалеозойскому комплексу. На востоке границей является Арало-Кызылкумская зона поднятий.

Принятое подразделение преимущественно терригенного разреза на дотриасовый, триасовый, юрско-меловой и палеогеновый комплексы является оправданным при описании геологии региона.

В Казахстанской части Северо-Устюртской НГО выявлено 7 месторождений: Арыстановское, Каракудук, Комсомольское, Колтук, Шагырлы-Шомышты, Бозайское, Кызылойское.

Арало-Торгайская нефтегазоносная провинция включает в себя Аральскую и Торгайскую НГО, приуроченные к одноименным осадочным бассейнам.

Аральская НГО в одноименном бассейне размерами 400х100х 210 км и общей площадью около 80 тыс.км^2. Основная часть Аральского бассейна расположена под Аральским морем и относится к юрисдикции Казахстана и Узбекистана. В рамках принятых границ Аральского бассейна месторождения УВ к настоящему времени не выявлена. В пластовых водах отмечались интенсивные газопроявления из юрских и меловых отложений.

Торгайская НГО связана с одноименным осадочным бассейном, занимающим крайнее западное положение в системе осадочных бассейнов Восточного Казахстана. В южных районах поисково-разведочные работы особенно интенсивно проводились с 1984г. после аварийного фонтанирования нефтью скважины 1-Кумколь из неокомских отложений. Здесь открыто 13 крупных нефтяных и газонефтяных месторождений.

В пределах Южно-Торгайского района к настоящему времени открыто 17 месторождений нефти и газа, из них 2 месторождения – Арысское и Южный Коныс являются газоконденсатными, а остальные нефтяными и газоконденсатно-нефтяными. К наиболее крупным по запасам нефти относятся месторождения Кумколь, Акшабулак и Коныс.

В Южно-Торгайском осадочном бассейне с учетом геологических параметров выделяются три нефтегазоносных (Арыскумская НГЗ, Аксайская НГЗ и Ащисайская НГЗ) и перспективные (Табак-Булакская и Жинишкекумская ПНГЗ) зоны.

Тениз-Шуская нефтегазоносная провинция

В соответствии с принятым нефтегазогеологическим районированием Тениз-Шуская НГП включает в себя Тенизскую перспективно-газоносную область и Шу-Сарысускую газоносную область.

Тенизская ПГО в геологическом отношении связана с одноименной впадиной, размерами 300х200-250 км и общей площадью 70 тыс.км^2. Комплекс в объеме девон-пермских образований сложен морскими и континентальными отложениями, максимальной мощностью до 5000 м. Разрез D_3f_m-C_{1v} является перспективно-нефтегазоносным;

Шу-Сарысуская газоносная область протягивается в субмеридинальном направлении почти на 900 км при ширине около 300 км. Впадина сложена комплексом девонско-пермских и мезозой-кайнозойских осадков с максимальной мощностью до 6000 м. Газоносными являются D_3-C_1 и P_1 карбонатные и терригенные образования. К настоящему времени в пределах Шу-Сарысуйской газоносной области выявлено и с различной степенью детальности разведано 9 газовых месторождений: Орталык, Западный Орталык, Придорожное (Кокпансорский ГР) и Молдыбай, Анабай, Амангельды, Айракты, Ушарал Северный, Ушарал-Кемпиртобе (Мойынкумский ГР).

Западно-Сибирская НГП (Казахстанская часть) своей южной частью охватывает северные района Казахстана, обычно выделяемые в качестве Северо-Казахстанской моноклинали. Целевые поисковые работы на нефть и газ здесь практически не проводились.

Оценка разреза с точки зрения наличия в нем резервуаров и покрышек позволяет с учетом реального состояния изученности выделить в качестве зональных флюидоупоров валанжин-аптскую (киялинскую) и туронскую (кузнецовскую).

Апт-сеноманская часть разреза однозначно может рассматриваться в качестве высокоемкого резервуара (покурская свита). В прогнозном варианте можно предлагать наличие резервуаров и флюидоупоров в юре и в палеозое. При этом флюидоупоры будут характеризоваться, главным образом, локальным развитием. В качестве вероятных резервуаров можно рассматривать палеозойскую кору выветривания.

Месторождения нефти и газа в пределах Казахстанской части Западно-Сибирской НГП не выявлены. В то же время накопленные геолого-геофизические материалы позволяют в первом приближении качественно оценить вероятность наличия здесь углеводородных скоплений.

Алаколь-Илийская перспективно–НГП

Эта провинция объединяет такие осадочные бассейны Казахстана как Алакольская, Прибалхашская и Илийская впадины. Целевая изученность их перспектив нефтегазоносности проводилась либо эпизо-

дически, либо вообще не проводились.

Илийская ПНГО. На основе имеющихся к настоящему времени геолого-геофизических материалов Илийская впадина представляет собой систему отрицательных структур юго-западной ориентировки, ограниченную на севере и юге соответственно складчатыми сооружениями Жонгарского Алатау, Кетменского Хребта и Заилийского Алатау.

Триас-юрско-меловые и палеоген-неогеновые отложения представлены мощной песчано-глинистой толщей озерно-болотного и аллювиального генезиса. Песчаники характеризуются высокими емкостно-фильтрационными свойствами (пористость до 30%, проницаемость до 400мд). Глинистые пачки над ними рассматриваются в качестве надежных зональных и локальных покрышек. В отложениях верхнего триаса-нижней и средней юры присутствуют пласты и пачки углей, преимущественно бурых, образующих промышленное месторождения.

Определенные перспективы выявления месторождений УВ можно связывать только с отдельными участками погруженной зоны Жаркентской впадины (Панфиловского прогиба). Многочисленные газопроявления в процессе бурения мелких и глубоких скважин из триасовых, юрских и неогеновых отложений Восточно-Илийской впадины однозначно свидетельствуют о том, что генерация УВ происходила и вероятнее всего происходит в настоящее время.

Балхашская ПГО. Эта перспективная область в геологическом отношении связана с одноименным осадочным бассейном, границами которого на востоке и юге являются складчатые сооружения Жангарского Алатау, на западе – Шу –Илийская складчатая система, а на севере – озеро Балхаш. Размеры осадочного бассейна 540х90–240 км. Изученность его крайне слабая. Целевых нефтегазопоисковых работ здесь не проводились.

Алакольская перспективно-газоносная область в геологическом отношении связана с одноименной межгорной впадиной, ограниченной с севера хребтом Тарбагатай, с юго-запада Жонгарским Алатау, с юго-востока хребтами Берлик и Майли. Геохимические исследования с целью прогноза нефтегазоносности впадины не проводились.

Зайсанская перспективно-нефтегазоносная область в геологическом отношении связана с одноименной впадиной, расположенной основной своей частью в пределах Казахстана и частично – в пределах КНР. Из общей площади Зайсанской впадины около 40 тыс. км^2 на территорию Казахстана приходится примерно 30 тыс. км^2. Комплексы-резервуары связаны с песчаниками, песчано-гравийными и песчано-алевролитами породами мезозойского, пермского и верхнекаменно-

угольного возраста, максимальные значения пористости в которых достигают 25 %. Эта секция разреза характеризуется наличием региональной палеогеновой покрышки.

Среднесырдарьинский осадочный бассейн выделен в качестве отдельной нефтегазоперспективной области. Он расположен на крайне юге и административно входит в состав Кызылординской и Южно-Казахстанской областей. Бассейн характеризуется субширотной ориентировкой и размерами 650х350 км.

Квазиплатформенные толщи верхнего палеозоя могут рассматриваться в качестве объекта для изучения перспектив нефтегазоносности в пределах отдельных блоков. В процессе нефтегазопоискового бурения на ряде площадей лево- и правобережья р. Сырдарьи из J–K и P отложений наблюдались редкие и незначительные газопроявления.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое нефть, каким составом и свойсвами она обладает?
2. Какими свойствами характеризуются породы-коллекторы и породы-флюидоупоры?
3. Как образуются природные резервуары и ловушки?
4. Что такое залежи нефти и газа?
5. Как классифицируются залежи нефти и газа?
6. Какие гипотезы существуют о происхождении нефти и газа?
7. В чем суть вертикальной зональности углеводородов в осадочной толще?
8. Что такое нефтегазоматеринские отложения и какие виды миграции бывают?
9. Что такое формирование и разрушение залежей нефти и газа?
10. Какава схема нефтегазогеологического районирования территории Казахстана?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Атлас моделей месторождений полезных ископаемых /Составители: Х.А. Беспаев, Л.А. Мирошниченко. Алматы, 2004

2. *Байбатша А.Б.* Инженерная геология месторождений полезных ископаемых с основами геоинформатики. Алматы: Ғылым, 2003.

3. *Бакенов М.М.* Нерудные полезные ископаемые Казахстана. Алматы, 2001. – 138 с.

4 *Бок И.И.* Основы рудной геологии. Кн. 1, 2. Алматы, 1970 1974.

5. Геология нефти и газа и нефтегазоносные провинции./Под ред. Э.А.Бакирова и В.А.Ларина. Москва, 1998.

6. Глубинное строение и минеральные ресурсы Казахстана. Нефть и газ. Т. III, Алматы, 2002.

7. *Ермолов В.А.* и др. Месторождения полезных ископаемых: Учебник для вузов. М.: МГГУ, 2001.

8. Курс месторождений твердых полезных ископаемых /Под ред. П.М.Татаринова и А.Е.Карякина. Л., 1975.

9. Курс рудных месторождений/Под ред. В. И. Смирнова. М.: Недра, 1986.

10. *Қайыпов С.Қ.* Қазақстанның минералдық шикізат байлықтары. Павлодар, 1999. – 258 б.

11. Месторождения металлических полезных ископаемых /В.В.Авдонин, В.Е.Бойцов, В.М.Григорьев и др. – М.: ЗЛО "Геоинформмарк", 2005. – 269 с.

12. Петрология органических веществ в геологии горючих ископаемых/ И.И. Аммосов и др. М.: Наука, 1987.

13. Полезные ископаемые Казахстана. Кокшетау, 2003.

14. Промышленные типы месторождений неметаллических полезных ископаемых/А.Е. Карякин, П.А. Строна, Б.Н. Шаронов и др. М.: Недра, 1985.

15. Рудные месторождения СССР. Т. 1–3/Под ред. В.И.Смирнова. М.: Недра, 1980.

16. Свойства, потребление и производство основных видов минерального сырья. Кокшетау, 2003.

17. *Смирнов В.И.* Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1986.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ…….. 3

ВВЕДЕНИЕ…… 5

Часть I. Общие вопросы…….. 11
1. Сведения о месторождениях полезных ископаемых…….. 11
1.1. Основные понятия и их определения……..... 11
1.2. Морфология и условия залегания тел полезных ископаемых 13
1.3. Качественные характеристики полезных ископаемых…… 20
Часть II. Условия образования и генетические типы месторождений полезных ископаемых…….. 29
2. Генетическая классификация месторождений…….. 29
2.1. Связь месторождений с основными структурными элементами земной коры…… 31
2.2. Геологические и физико-химические факторы, определяющие образование и размещение месторождений… 34
2.3. Источники вещества и способы его отложения……... 38
3. Магматические месторождения…… 40
3.1. Условия образования…….. 40
3.2. Типы месторождений…….. 41
4. Пегматитовые месторождения…….. 48
4.1. Условия образования…….. 48
4.2. Типы месторождений……. 50
5. Гидротермальные месторождения…… 53
5.1. Условия образования…….. 53
5.2. Типы месторождений……. 54
6. Контактово-метасоматические месторождения…… 61
6.1. Условия образования…….. 61
6.2. Типы месторождений…….. 62
7. Метаморфизованные и метаморфические месторождения 69
7.1. Условия образования…….. 69
7.2. Типы месторождений…….. 70
8. Вулканогенно-осадочные месторождения…….. 74
8.1. Условия образования…….. 74
8.2. Типы месторождений……. 74
9. Гидротермально-осадочные (стратиформные) месторождения…… 78
9.1. Условия образования……. 78
9.2. Типы месторождений……. 78

10. Месторождения выветривания…….. 81
10.1. Условия образования…… 81
10.2. Типы месторождений…… 83
11. Осадочные месторождения …….. 91
11.1. Условия образования…… 91
11.2. Типы месторождений…… 93
Часть III. Промышленные типы месторождений полезных ископаемых…….. 107
12. Металлические полезные ископаемые…… 107
12.1. Железо……... 109
12.2. Марганец …….. 120
12.3.Хром……. 123
12.4. Титан……... 127
12.5. Никель и кобальт……... 129
12.6. Вольфрам и молибден…….. 134
12.7. Алюминий……. 140
12.8. Медь…… 144
12.9. Олово…….. 152
12.10. Свинец и цинк…….. 154
12.11. Сурьма и ртуть……. 161
12.12. Золото и серебро……. 164
12.13. Металлы платиновой группы…… 170
12.14. Уран…….. 172
12.15. Литий…… 175
12.16. Бериллий …….. 177
12.17. Тантал и ниобий…….. 179
12.18. Редкоземельные элементы……. 181
13. Неметаллические полезные ископаемые……... 186
13.1. Классификация неметаллических полезных ископаемых…. 186
13.2. Драгоценные, поделочные и технические камни……... 187
13.3. Графит……. 194
13.4. Слюды……. 197
13.5. Асбест…….. 200
13.6. Тальк……... 204
13.7. Флюорит……. 205
13.8. Магнезит и брусит…….. 207
13.9. Цеолиты……... 209
13.10. Минеральные соли и бор…… 211
13.11. Фосфатное сырье…….. 216
13.12. Серное сырье…… 221
13.13. Диатомиты, трепелы, опоки…….. 222

13.14. Естественные каменные строительные материалы……. 223
13.15. Карбонатные породы…….. 227
13.15. Песок и песчано-гравийные материалы…… 229
13.16. Глины и каолины…….. 230
13.17. Техногенные месторождения…….. 232
14. Твердые горючие ископаемые……..…… 238
14.1. Общие сведения……. 238
14.2. Основные показатели качества, состава и свойств углей….. 241
14.3. Классификация и основные направления использования углей……. 253
14.4. Морфология угольных пластов…… 260
14.5. Угленосная толща……. 268
14.6. Общая характеристика угольных месторождений…….. 270
14.7. Стратиграфическое и географическое распределение угольных ресурсов……. 276
15. Геология нефти и газа..... 295
15.1. Состав и свойства нефтей и газов..... 295
15.2. Породы, содержащие нефть и природные газы……. 297
15.3. Природные резервуары и ловушки……. 300
15.4. Залежи нефти и газа…….. 300
15.5. Классификация залежей нефти и газа……. 302
15.6. Формирование нефтегазовых залежей и нефтегазовых территорий..... 303
15.7. Классификация нефтегазоносных территорий..... 308
15.8. Нефтегазогеологическое районирование Казахстана..... 309

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ……..... 318

Учебное издание

Байбатша Адильхан Бекдильдаұлы

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Учебник

Зав. РО	*З.А. Губайдулина*
Редактор	*С.Н. Яниева*
Техн. редактор	*Ж.Н. Байменова*
Компьютерный набор и верстка	*А.А. Сегизбаева*

Подписано в печать 2008 г.
Тираж 500 экз. Формат 60x84 1/16. Бумага типоф. № 1.
Объем 23,0 п.л. Заказ № . Цена договорная.

Издание Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева
Научно-технический издательский центр КазНТУ,
Алматы, ул. Ладыгина, 32