

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Амурский государственный университет»

Кафедра Геологии и природопользования

---

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

**«Основы учения о полезных ископаемых»**

Основной образовательной программы по специальности  
130301.65 «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных  
ископаемых», для очной и заочной в сокращенные сроки форм обучения;

Составитель Авраменко С.М., ст.преподаватель  
Факультет Инженерно-физический  
Кафедра Геологии и природопользования

Благовещенск 2012

УМКД разработан ст.преподавателем Авраменко Светланой Михайловной

Рассмотрен и рекомендован на заседании кафедры Геологии и иприродопользовании

«02» ИЮНЯ 2012 г., протокол № 10

Заведующий кафедрой  / Т.В. Кезина

**УТВЕРЖДЕН**

Протокол заседания УМСС 130301.65 «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых.

От 02 ИЮНЯ 2012 г. протокол № 8

Председатель УМСС  / Т.В. Кезина

# **I. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ «Основы учения о полезных ископаемых»**

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Цель дисциплины.** Данный курс знакомит студентов с геологическими и физико-химическими условиями образования месторождений полезных ископаемых. Он позволяет уяснить особенности локализации, строения и вещественного состава рудных тел, рациональным комплексом методов их исследования, а также приобрести навыки определения генетической принадлежности месторождений по каменному материалу.

**Задачи изучения дисциплины.** Знакомство с подходом к генетической классификации МПИ, отвечающем современному уровню развития науки и требованиям практического производства;

1. Получение представлений об условиях происхождения и формирования эндогенных, экзогенных, метаморфогенных и полигенных месторождений;
2. Приобретение практических навыков визуального изучения руд, определения в них жильных и рудных минералов с выводами по генезису изучаемых образцов.

Эти знания необходимы геологу для выполнения повседневной работы, связанной с поисками и разведкой месторождений, а также камеральной обработкой материалов и производства простейших научных исследований.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО**

**Образовательный стандарт.** Понятие о месторождениях, полезных ископаемых; образование и размещение магматических и флюидно-магматических (кристаллизационные, ликвационные, пегматитовые, карбонатитовые месторождения), гидротермально-магматических и гидротермально-осадочных (апогранитовые и грейзеновые, скарновые, порфириновые, жильные, вулканогенные), гидротермально-инфильтрационных месторождений; месторождений кор выветривания и осадочных; метаморфических процессов в образовании месторождений.

Программа учебной дисциплины составлена в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта.

Данная учебная дисциплина входит в раздел «ОПД Цикл общепрофессиональных дисциплин для специальности 130301.65 – «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых».

В свою очередь, данный курс помимо самостоятельного значения, является предшествующей дисциплиной для курсов: Геохимия, Региональная геологий, Промышленные типы МПИ.

**Перечень дисциплин, усвоение которых необходимо для изучения курса «Основы учения о полезных ископаемых».**

Для полного понимания курса студенту необходимо обладать в полном объеме знаниями по следующим предметам: общая геология, минералогия и кристаллография, петрография и литология, а также физика, химия, основы информатики, обще-геологическая и геолого-съёмочная учебные практики.

## **3. ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате освоения дисциплины студент должен:

**Знать:**

- Основные понятия: месторождение ПИ, руда, полезное ископаемое, виды сырья, рудопроявление, рудная формация;
- Генетическую классификацию МПИ;

- Условия образования и размещение в земной коре магматических, пневмато-гидротермальных (пегматитовых, альбититовых, скарновых, грейзеновых, гидротермальных) месторождений, месторождений кор выветривания, осадочных и метаморфогенных месторождений;
- В каждом типе месторождений знать основные жильные и рудные минералы, текстуры руд, характерные формы рудных тел;
- Особенности геологического строения и условия залегания МПИ различных генетических типов;
- Экономическое значение определенных генетических типов месторождений тех или иных полезных ископаемых в зависимости от качества и количества руды и других условий.

**Уметь:**

- Анализировать генезис месторождений по совокупности геологических материалов, данных о составе, строении, условиях залегания рудных тел;
- Определять положение изучаемых месторождений полезных ископаемых в генетической классификации;
- Составлять геолого-генетическое описание месторождений полезных ископаемых;
- Быть способным составлять обзоры по экономике минерального сырья на основе опубликованных и фондовых материалов;
- Правильно оценивать перспективы, иметь представления о наиболее значимых месторождениях Дальневосточного региона РФ, стран Ближнего и Дальнего зарубежья.

**Владеть:**

- Методами изучения вещественного состава полезных ископаемых;
- Принципами генетической классификации МПИ;
- Навыками работы с литературными источниками по вопросам классификации и генезиса МПИ.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Структура и содержание дисциплины для студентов дневного обучения

Общая трудоемкость дисциплины составляет 100 часов.

№пп	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра). Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекц.	Лаб.	Прак.	Сам. Раб	
		6						
1	Вводная лекция. Общие сведения о МПИ.	6		2		2	6	Лекции
2	Эндогенная серия: образование и размещение магматические флюидно-магматические (кристаллизационные, ликвационные,	6		6		14	18	Реферат Тест-опрос

	пегматитовые, карбонатитовые) месторождения.							
3	Экзогенная серия: инфильтрационные, осадочные месторождения.	6		4		8	12	Лекции Экспресс-опрос
4	Полигенная серия: стратиформные и колчеданные месторождения; вулканогенно-осадочные месторождения	6		2		4	10	Лекции Подготовка презентации
5	Метаморфогенная серия: понятия о метаморфизме, метаморфизованные и метаморфические месторождения.	6		2		2	8	Лекции Домашняя работа
<b>Итого за год</b>				<b>16</b>		<b>30</b>	<b>54</b>	<b>100</b>

#### 4.2. Структура и содержание дисциплины (модуля) для студентов заочного обучения

Общая трудоемкость дисциплины составляет 100 часов.

№ пп	Формы обучения	Количество часов
1	Лекции	6
2	Практические занятия	6
3	Лабораторные работы	-
4	Самостоятельная работа	54
5	Итого	100

### 5. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

#### Раздел 1. Общие сведения о МПИ — 2 ч.

**Введение.** Цели и задачи изучения геологии месторождений полезных ископаемых.

**Тема 1.** Основные понятия: полезное ископаемое (минеральное сырье); виды сырья (металлические, неметаллические, углеводородные, твердые, жидкие, газообразные); руды; месторождение полезных ископаемых; проявление (рудопроявление); рудная формация.

Понятие о текстурах и структурах руд. Классификация текстур руд. Требование к промышленному месторождению. Понятие о кондициях.

**Тема 2.** Сингенетические и эпигенетические месторождения. Морфология тел полезных ископаемых, их элементы залегания. Складчатые и разрывные дислокации на месторождениях. Генетическая классификация МПИ.

#### Раздел 2. Эндогенная серия: образование и размещение магматические флюидно-магматические (кристаллизационные, ликвационные, пегматитовые, карбонатитовые) месторождения — 6 ч.

**Тема 3.** Магматические месторождения. Геологические и физико-химические условия образования. Ранне-, позднемагматические и ликвационные месторождения. Формы рудных тел, минеральный состав, текстуры руд. Основные рудные формации с примерами месторождений. Промышленное значение.

**Тема 4.** Пегматитовые месторождения. Геологические и физико-химические условия образования. Гипотезы А.Е.Ферсмана, А.Н. Заварицкого, В.Д. Никитина образования пегматитов. Пегматиты «чистой линии» и «линии скрещения». Формы рудных тел,

минеральный состав, текстуры руд. Основные рудные формации с примерами месторождений. Промышленное значение.

**Тема 5.** Карбонатитовые месторождения. Геологические и физико-химические условия образования, связь с ультраосновными и щелочными породами. Формы рудных тел, минеральный состав, текстуры руд. Основные рудные формации с примерами месторождений. Промышленное значение.

**Тема 6.** Альбититовые и грейзеновые месторождения. Общие понятия о постмагматических процессах, метасоматоз. Геологические и физико-химические условия образования. Изменение кислотности-щелочности, геолго-структурные особенности формирования. Формы рудных тел, минеральный состав, текстуры руд. Основные рудные формации с примерами месторождений. Промышленное значение.

**Тема 7.** Контактново-метасоматические (скарновые) месторождения. Геологические и физико-химические условия образования. Инфильтрационный, диффузионный и биметасоматоз. Характер и последовательность минералоотложения, причины фациальной смены минеральных ассоциаций и зональное строение скарнов (взгляды Д.С.Коржинского, П.П.Пилипенко). Формы рудных тел, минеральный состав, текстуры руд. Основные рудные формации с примерами месторождений. Промышленное значение.

**Тема 8.** Гидротермальные месторождения. Геологические и физико-химические условия образования. Источники воды и минерального вещества, формы переноса рудных компонентов. Глубинные плутоногенные месторождения. Метасоматоз (грейзенизация, скарнирование, ороговикование, турмалинизация, сульфидизация, хлоритизация, лиственитизация и др.). Формы рудных тел, минеральный состав, текстуры руд. Основные рудные формации с примерами месторождений. Промышленное значение.

**Тема 9.** Приповерхностные вулканогенные гидротермальные месторождения. Метасоматоз (пропилитизация, алунитизация, окремнение, каолинизация, аргиллизация и др.). Формы рудных тел, минеральный состав, текстуры руд. Основные рудные формации с примерами месторождений. Промышленное значение.

### **Раздел 3. Экзогенная серия — 4 ч.**

**Тема 10.** Поверхностные изменения МПИ. Строение зоны окисления сульфидных месторождений. Геологические, физико-химические и гидрогеологические условия ее развития. Поведение железа, меди, свинца, цинка в зоне окисления, ее промышленное значение.

Зоны окисления на месторождениях нефти и угля (месторождения битумов, угли с высоким содержанием гуминовых кислот, «горельники»).

Месторождения кор выветривания. Морфологические типы кор выветривания, основные рудные формации с примерами месторождений. Промышленное значение.

**Тема 11.** Инфильтрационные месторождения. Геологические и физико-химические условия образования. «Стратиформность» объектов, вещественный состав, формы рудных тел, текстуры руд. Основные рудные формации с примерами месторождений. Промышленное значение.

**Тема 12.** Осадочные месторождения.

Механические осадки. Геологические и физико-химические условия образования. Типы россыпей (континентальных и прибрежно-морских), процессы их формирования. Строение, размеры, основные рудные формации и примеры месторождений. Промышленное значение.

Особенности формирования химических осадков из истинных растворов, формы рудных тел, минеральный состав, текстуры руд. Основные рудные формации с примерами месторождений. Промышленное значение.

Особенности формирования химических осадков из коллоидных растворов, формы рудных тел, минеральный состав, текстуры руд. Основные рудные формации с примерами месторождений. Промышленное значение.

**Тема 13.** Биогенные (биохимические) осадки. Собственно биогенные и углеводородные полезные ископаемые, геологические и физико-химические условия образования. Формы тел полезных ископаемых, вещественный состав.

Разделение месторождений по физическим свойствам на твердые, жидкие и газообразные. Генетические типы месторождений углеводородов, примеры месторождений. Промышленное значение.

#### **Раздел 4. Метаморфогенная серия — 2 ч.**

**Тема 14.** Понятия о метаморфизме, типы и фации метаморфизма. Геологические и физико-химические условия образования метаморфогенных месторождений.

Метаморфизованные месторождения. Строение, формы рудных тел, минеральный состав, текстуры руд. Основные рудные формации с примерами месторождений. Промышленное значение.

Метаморфические месторождения. Строение, формы рудных тел, минеральный состав, текстуры руд. Основные рудные формации с примерами месторождений. Промышленное значение.

#### **Раздел 5. Полигенная серия — 2 ч.**

**Тема 15.** Стратиформные и колчеданные месторождения. Геологические и физико-химические условия образования. Формы рудных тел, минеральный состав, текстуры руд. Основные рудные формации с примерами месторождений. Промышленное значение.

**Тема 16.** Вулканогенно-осадочные месторождения. Геологические и физико-химические условия образования. Формы рудных тел, минеральный состав, текстуры руд. Основные рудные формации с примерами месторождений. Промышленное значение.

Крупные и уникальные месторождения. Геологические и физико-химические условия образования. Полистадийность и полихронность месторождений, их комплексность. Формы рудных тел, минеральный состав, текстуры руд. Основные рудные формации с примерами месторождений. Промышленное значение.

## **6. КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ ПРОГРАММНОГО МАТЕРИАЛА**

**Тема: Общие сведения о МПИ. Сингенетические и эпигенетические месторождения. Морфология тел полезных ископаемых, их элементы залегания. Складчатые и разрывные дислокации на месторождениях.**

### План лекции:

1. Цели и задачи изучения геологии месторождений полезных ископаемых.
2. Основные понятия и термины
3. Сводная генетическая классификация
4. Сингенетические и эпигенетические месторождения.
5. Морфология тел полезных ископаемых, их элементы залегания.
6. Складчатые и разрывные дислокации на месторождениях.
7. Сингенетические и эпигенетические месторождения.
8. Морфология тел полезных ископаемых, их элементы залегания.
9. Складчатые и разрывные дислокации на месторождениях.

### Цели и задачи дисциплины:

Целью является изучения геологии месторождений полезных ископаемых

Задачами является - теоретическое и практическое освоение - основных понятий и терминов МПИ, - изучение сводной генетической классификации, - а также морфологии тел полезных ископаемых, их элементов залегания.

### **Основные понятия и термины**

Предметом изучения данной дисциплины являются полезные ископаемые. *Полезное ископаемое* - это естественное скопление в недрах или на поверхности континентов, дне морей и океанов природного минерального образования в твердом или жидком, или газообразном состоянии. В процессе геологоразведочных и научно-исследовательских работ выявляют их пространственное положение, формы и размеры, количественные,

качественные и другие технологические характеристики. При определенной экономической значимости они становятся *минеральными ресурсами*, часть из которых в результате разведочных работ трансформируется в запасы.

Размещение минеральных ресурсов контролируется локальными и региональными структурами. Минеральные ресурсы, приуроченные к локальным структурам, концентрируются в месторождения. То есть *месторождение* представляет собой скопление полезного ископаемого, занимающего определенное пространственное положение в локальной геологической структуре и характеризующееся практически значимыми качественными и количественными показателями. Месторождение может быть промышленным, если оно имеет балансовые запасы, и непромышленным, если использование его запасов в настоящее время экономически нецелесообразно или технически и технологически невозможно.

Месторождения не имеющие разведанных запасов, оцениваются по прогнозным ресурсам. Разведанные запасы в процессе их разработки становятся *минеральным сырьем*.

Когда речь идет об использовании минеральных ресурсов в качестве сырья для промышленности, тогда возникает производное понятие *минерально-сырьевые ресурсы*.

Другие ключевые понятия дифференцированы по природно-технологическим группам полезных ископаемых. По технологическим особенностям, обуславливающим области их использования, полезные ископаемые и их месторождения разделяют на металлические, неметаллические, горючие (каустобиолиты) и гидроминеральные.

Нередко металлические полезные ископаемые отождествляют с рудными, неметаллические, не обоснованно, с нерудными полезными ископаемыми. В действительности как металлические, так и частично неметаллические полезные ископаемые являются рудными образованиями. Понятие "неметаллические" лишь отрицает принадлежность к металлическим образованиям, поэтому к ним часто добавляют определение "твердые", поскольку они, как и металлические полезные ископаемые, находятся, за редким исключением, в твердом состоянии.

*Рудой* называется горная минеральная масса, содержащая один или более ценных компонентов в количестве, обеспечивающем возмещение затрат на их извлечение.

Горючие и гидроминеральные полезные ископаемые могут быть в твердой, жидкой или газообразной фазах. Твердое минеральное сырье, предназначенное для технологической переработки, является товарной рудой. Часть неметаллического минерального сырья и твердых каустобиолитов, подобно жидкому и газообразному сырью, используется без предварительной переработки.

Продуктивные части месторождений, имеющие природные геолого-структурные границы или условные контуры, устанавливаемые по результатам опробования, образуют тела или залежи. Их внутреннее строение характеризуется неоднородностью слагающих элементов: встречаются участки повышенных концентраций полезных компонентов и участки, практически лишенные их. При достаточно высокой плотности участков повышенных концентраций тело становится *рудным телом*. Близким по значению является понятие *рудная залежь*. Рудное тело характеризуется рудонасыщенностью или рудоносностью, рудная залежь - продуктивностью. Если понятие "рудное тело" может рассматриваться вне его формы и условий залегания, то понятие "рудная залежь" указывает на значительную изменчивость ее мощности и согласное залегание. На месторождении может быть одно-два, чаще несколько рудных тел или залежей.

Обособленными являются залежи нефти, газоконденсата и газа, представляющие собой естественные скопления этих образований в литолого-структурных ловушках. Кроме того, выделяют различные типы торфяных залежей, пластообразные залежи каменного угля или каменной соли, пластовую залежь калийной соли и залежи других полезных ископаемых.

Небольшие скопления полезных ископаемых в локальных геологических структурах называют *проявлениями*, а если такие скопления представлены рудными образованиями, то -

*рудопроявлениями*. Незначительные по размерам проявления или рудопроявления определяются соответственно понятиями *минерализованной и рудной точками*.

Площадь распространения сближенных в общей локальной геологической структуре генетически связанных месторождений или рудопоявлений представляет собой *рудное поле*. Рудные поля и месторождения полезных ископаемых могут формировать более значительные по площади распространения *районы* или *узлы*, которые, в свою очередь, объединяются в *металлогенические зоны и пояса*, а также *области и провинции* или *бассейны* различной минерально-сырьевой специализации. Размещение рудных полей и указанных территорий более высоких природных уровней контролируется региональными структурами в совокупности с другими геологическими факторами. Изучением этих вопросов занимается специальная наука - *металлогения* или *минерагения*.

Для познания геологических условий образования и закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых важными являются понятия о *фациях*, геологических *формациях* и *комплексах*, рудных *формациях* и *комплексах*. Эти понятия могут иметь различные объяснения (толкования или определения), функционально связанные с особенностями изучаемых объектов и методов их исследования. Применительно к данной дисциплине понятие *фации* указывает на общность геологических, физико-химических, ландшафтных или других обстановок (условий), в которых формируются геологические *формации* и *комплексы* и связанные с ними соответственно рудные *формации* и рудные *комплексы*. Основным критерием выделения геологических *формаций* является стратификация слагающих их толщ.

*Геологические формации* объединяют близкие по составу и происхождению сообщества стратифицированных горных пород (осадочных, вулканогенных, вулканогенно-осадочных, метаморфических и кор выветривания), формирующих геологические тела в определенных структурных элементах земной коры. Парагенетические ассоциации интрузивных и нестратифицированных субвулканических пород образуют *геологические комплексы*.

*Рудная формация* объединяет близкие по происхождению и минеральному составу экономически значимые образования в рудовмещающих или рудоносных геологических *формациях*. *Рудные комплексы* включают парагенетические ассоциации основных и сопутствующих полезных компонентов (в минеральной или элементной форме) при соотношении их промышленной ценности от паритета до минимума, обеспечивающего техническую возможность и экономическую целесообразность их извлечения. Они могут быть пространственно связаны с интрузивными и субвулканическими сообществами пород либо размещаться в геологических *формациях* как эпигенетические образования. В последнем случае можно говорить о конвергентности понятий "рудная формация" и "рудный комплекс".

Геологические *формации* и нестратифицированные ассоциации горных пород с вмещающими их структурами образуют *структурно-формационные комплексы*. При наличии связанных с ними месторождений полезных ископаемых они определяются как "*продуктивные*" или "*рудопродуктивные*" и служат основой выделения промышленных типов месторождений, общие модели которых носят описательный характер.

### **Сводная генетическая классификация**

Выявление избирательной связи продуктивных структурно-формационных комплексов с определенными геодинамическими обстановками и рудообразующими физико-химическими процессами, реконструкция природы энергетических, и вещественных источников и первичных морфологии тел и условий их залегания позволяют составить генетические модели месторождений, то есть установить *генезис*. На основе многочисленных генетических моделей, реконструирующих общие условия и процессы образования месторождений полезных ископаемых, осуществляется их генетическая классификация. Составляющие ее типы месторождений называются *генетическими*.

Генетическая классификация, впервые была опубликована автором в его учебнике "Геология и разведка, месторождений полезных ископаемых" (1989). Выделенные в ней генетические типы и их группировка тесно увязаны с рудообразующими процессами.

Геологические рудообразующие процессы подразделяются на 4 группы: магматические, постмагматические, эндогенно-экзогенные, экзогенные (выветривания и седиментации) и метаморфогенные. В результате магматических и постмагматических процессов формируется группа магматогенно-метасоматических месторождений. Совместное проявление эндогенных и экзогенных процессов одновременно или в определенной взаимосвязи обуславливают возникновение эндогенно-экзогенной группы месторождений. Процессы выветривания и седиментации приводят к образованию *экзогенных* месторождений, а с метаморфизмом - связана группа *метаморфогенных* месторождений.

Магматические, постмагматические и метаморфические процессы, связанные с проявлением внутренней энергии Земли, называются, как и производные от них месторождения, *эндогенными*.

Месторождения магматического класса подразделены на ликвидационный, взрывной и кристаллизационный подклассы, отражающих их связь соответственно с процессами ликвидации мафит-ультрамафитовой магмы, взрывов кимберлитовой и лампроитовой магм и кристаллизационной дифференциации ультрамафитовых, мафитовых и щелочных магм.

Карбонатитовые месторождения могли сформироваться в результате последовательного внедрения и кристаллизации ультрамафитовых щелочных магм в структурах центрального типа, а также в связи с магматогенно-метасоматическими процессами.

Пегматитовые месторождения подразделяются на три подкласса: 1) простых пегматитов, сформировавшихся при кристаллизации остаточного магматического расплава; 2) перекристаллизованных (при перекристаллизации простых пегматитов) и 3) метасоматически замещенных пегматитов, образованных в процессе метасоматоза перекристаллизованных пегматитов.

С процессами магматогенного метасоматоза связаны скарновые и альбитит-грейзеновые месторождения.

Те и другие являются постмагматическими образованиями. Скарновые подразделены на месторождения карбонатных и силикатных скарнов, Первые характеризуются проявлением, контактового кальциево-магниевого и алюмосиликатного метасоматоза, вторые-кальцие-силикатного. Альбитит-грейзеновые месторождения подразделены на альбититовый и грейзеновый подклассы. В альбититовых месторождениях интенсивно выражены процессы натрового метасоматоза, а в грейзеновых - калиевого метасоматоза.

Магматогенно-метасоматическую группу завершают гидротермальные и эксгаляционные месторождения: плутоногенные, субвулканические, или порфировые, и вулканогенные, или эксгаляционно-вулканогенные, связанные также с постмагматическими процессами.

В переходной эндогенно-экзогенной группе месторождений выделяются вулканогенно-осадочный и гидротермально-осадочный (стратиформный) классы, связанные с процессами сингенетического и эпигенетического рудообразования в осадочных и вулканогенно-осадочных формациях.

В экзогенной группе выделяют два класса месторождений: выветривания и осадочный. Месторождения выветривания подразделяют на два подкласса: остаточный и инфильтрационный. Остаточные месторождения являются продуктами химического выветривания, а инфильтрационные месторождения сформировались при выщелачивании и переотложении фунтовыми водами рудообразующих компонентов на геохимических барьерах.

Осадочные месторождения подразделены на подклассы: 1) обломочный и россыпей, 2) гидрогенный (хемогенный), 3) биогенный.

Подкласс обломочных и россыпных месторождений, производных физического выветривания, в зависимости: от механизма и места его проявления, в свою очередь, делится на элювиально - делювиальные, аллювиальные, литоральные, ледниковые и эоловые месторождения. Элювиально-делювиальные образования формируются в процессе приповерхностного разрушения продуктивных тел и гравитационного смещения материала по склону. Аллювиальные россыпи связаны с речной эрозией, переносом, и накоплением, твердого стока. Механическая дифференциация обломочного материала в прибрежноморской полосе приливов и отливов или зоны прибоя может привести к образованию литоральных месторождений. С переносом и отложением морен связаны ледниковые образования, с перемещением песков ветром - эоловые.

Формирование гидрогенных месторождений обусловлено процессами кристаллизации солей из растворов морской воды и последующим проявлением соляной тектоники.

Образование биогенных месторождений, связано с осадконакоплением и преобразованием органической массы.

Метаморфогенная группа включает метаморфизованный и метаморфический классы месторождений. Кроме того, различают месторождения в различных фациях метаморфизма.

Месторождения, образовавшиеся в результате последовательного проявления различных по генезису рудообразующих процессов, называются *полигенными*. При полигенном оруденении создается комбинированная генетическая модель месторождения. В этом: случае могут возникнуть затруднения в отношении его генетической: принадлежности, определяемой по доминирующему рудообразующему процессу. Длительность и прерывистость во времени таких или однотипных, по генезису процессов приводит к образованию *полихронных месторождений*. Разновидностью полигонных и полихронных рудообра-зований могут служить *регенерированные месторождения*, которые сформировались в результате вовлечения в процессе их становления отличных по генезису более древних минеральных скоплений.

**Сингенетические и эпигенетические месторождения. Морфология тел полезных ископаемых, их элементы залегания. Складчатые и разрывные дислокации на месторождениях.**

Месторождения по величине запасов минеральных ресурсов подразделяются на уникальные, крупные, средние и мелкие. Они могут быть компактными или занимать значительные площади, иногда многие десятки квадратных километров. Это зависит от морфологии слагающих месторождения тел, их числа, условий залегания и других факторов, влияющих на выбор разведочных систем, формы и плотности сети горных выработок и скважин, способа вскрытия и системы разработки.

Морфология (*морфо* - форма) тел полезных ископаемых определяется их очертаниями в различных плоскостях. Приняв за основу очертания тел или их отдельных частей в трех системах плоскостей (разрезов), взаимопересекающихся под прямыми углами, можно получить приближенные модели их конфигурации в пространстве. Чем меньше расстояния между разрезами в каждой системе, тем точнее объемная модель отражает форму тел.

Форма тел полезных ископаемых тесно связана с условиями их образования и во многом определяется структурными факторами. По времени образования относительно вмещающих пород тела полезных ископаемых разделяются на сингенетические, образовавшиеся с ними одновременно, и эпигенетические, возникшие позднее.

Форма тел полезных ископаемых может быть самой разнообразной. Однако, учитывая специфику их отработки и применяемые при этом технические средства, отмечают общую тенденцию к упрощению форм при оконтуривании. Обычно они приводятся к объемам, ограниченным плоскими поверхностями.

Залегание тел полезных ископаемых по отношению к вмещающим слоистым породам может быть секущим или согласным, а по отношению к интрузирующим магматическим породам выделяют контактовые рудные тела.

По соотношению площадей рудных контуров в трех системах разрезов выделяются объемные, плоские и линейные тела

#### *Объемные тела*

Объемные тела имеют приблизительно равновеликие продуктивные контуры в трех системах плоскостей. К ним относятся штоки, гнезда, шлиры, камеры и карманы.

*Шток* как петрографическое понятие представляет собой небольшое интрузивное тело близкое к цилиндрической форме (см. рис. 1.13 д). В данном курсе рассматриваются рудные и соляные штоки, а также штокообразные рудные тела, штокверки.

*Рудный шток* характеризуется значительными размерами, изометричными в двух измерениях и несколько меньшими в третьем измерении, относительно высоким содержанием и равномерным распределением полезных компонентов. Рудные штоки могли сформироваться в результате постмагматических процессов метасоматоза и гидротермального заполнения пересекающихся систем трещин и зон повышенной пористости. Примером служат штоки редкометалльных и апатито-магнетитовых и флогопитовых карбонатитов, колчеданно-полиметаллических регенерированных руд.

Известны штоки полигенных метаморфизованных залежей титано-магнетитов, железистых кварцитов, золота, урана и других полезных ископаемых докембрия.

*Соляной шток* - это ядро диапирового соляного купола, имеющего цилиндрическую форму с округлым или овальным горизонтальным сечением от 0,1 до 10 квадратных километров и высотой значительно большей его поперечника.

Штокообразные рудные тела, небольших размеров слагаются сложными по форме жилами, зонами прожилкования и брекчирования. Такие тела крупных размеров называются *токверками*.

Понятие *штокверк* характеризует, прежде всего, внутреннее строение рудного тела или залежи большеобъемного изометрического тела сложной формы, насыщенного сближенными жилами, прожилками и участками вкрапленной рудной минерализации.

Штокверки по характеру распределения полезных компонентов могут быть изотропными, если величина изменчивости по всем трем системам разрезов одинаковая, или анизотропными - при различной степени изменчивости. Анизотропное строение чаще всего обусловлено развитием разноориентированных систем, трещин с рудной минерализацией.

*Гнезда*, в отличие от штоков, имеют незначительные размеры, слабоволнистые контуры и высокие концентрации полезных компонентов. Эти параметры обычно определяются лишь после отработки гнезд, что затрудняет подсчет запасов по результатам разведки.

Гнездовое оруденение характерно для скарново-шеелитовых залежей, гидротермальных и стратиформных эпигенетических руд вольфрама, золота, ртути, сурьмы и полиметаллов.

*Шлиры* - это небольших размеров полосчатые обособления (внутри интрузивов) повышенных концентраций комагматических рудных минералов с границами постепенного перехода во вмещающие их изверженные породы. Примером служат шлиры хромитов и платиноидов в дунитовых массивах.

*Камеры* являются естественным вместилищем пегматитовых и контактово-метасоматических минеральных образований. По размерам они сопоставимы с камерами очистной добычи; приурочены к локальным тектоническим осложнениям.

*Карманы* - это мелкие углубления в подстилающих породах, выполненные минеральными образованиями с высокой концентрацией полезных компонентов. Такие тела обычно не имеют самостоятельного значения; они являются морфологическими дополнениями пластовых и штокообразных тел, возникающих в процессе карманообразного

выветривания и осложняющих их форму. Карманы образуются в элювии редкомегалльных и реже ртутных, шеелитовых, вольфрамитовых и касситеритовых месторождений, а также наблюдаются в кобальто-никелевых и бокситовых залежах кор выветривания.

#### *Плоские тела*

Плоские тела также моделируют в трех взаимно ортогональных системах разрезов в соответствии с направлениями анизотропии. Направление максимальной изменчивости совпадает с мощностью, а минимальное и промежуточное - соответственно с простиранием и падением (шириной) тела. Последние два, наиболее протяженные направления, находятся в продольной плоскости. Поперечным плоскостям соответствуют одно короткое измерение (мощность) и другое - либо измерение по простиранию, либо по падению. Их проецируют при пологом залегании на горизонтальную, а при крутом падении на вертикальную плоскости. Эти проекции, удобные в практическом отношении модели, используются при проектировании разведочных и эксплуатационных горных выработок и скважин, подсчете запасов. Поперечные к простиранию - разрезы и погоризонтальные планы являются наиболее информативными моделями глубинной структуры месторождения, морфологии и внутреннего строения рудных тел и вмещающих пород.

#### **Жилы**

Среди простых жил выделяются пластовые и плитообразные. Первые из них залегают согласно в стратифицированных породах и поэтому их называют также межпластовыми или внутрiformационными жилами. Вторые, близкие к форме даек, выдержанные по простиранию и падению, могут локализоваться в породных комплексах любого состава. Они реже, чем межпластовые жилы, бывают насыщены рудной минерализацией.

*Ветвящаяся жила* может состоять из ряда сложно соединяющихся между собой изгибающихся жильных образований либо иметь плитообразную форму с ответвлениями во вмещающие боковые породы. Такие ответвления, называемые *апофизами*, могут наблюдаться как по простиранию, так и на глубину и достигать размеров достаточных для их автономной разработки.

Близкими по морфологии являются *линзующиеся, чечевицеобразные, фестончатые, рубцовые и четковидные жилы*, каждая из которых имеют повторяющиеся линзовидные раздувы. Линзующиеся жила имеет плавные раздувы и сопоставимые с ними по длине пережимы. Чечевицеобразная жила развивается в виде мелких линз по напластованию пород. Фестончатая отличается от линзующейся резкими раздувами и изгибами. В Рубцовых и четковидных жилах раздувы равномерно сближены. Рубцовые жилы развиваются по трещинам выщелачивания в карбонатных породах и реже по тектоническим трещинам; имеют слабоконтрастные раздувы и пережимы, а также незначительную протяженность по простиранию и на глубину. Четковидные жилы отличаются от рубцовых одинаковыми по форме раздувами и резкими безрудными пережимами вдоль трещин отрыва.

*Камерная жила* представляет собой ряд штокообразных раздувов, соединенных между собой тонкой жилой или так называемым жильным швом.

Тонкие жилы мощностью от нескольких сантиметров до 3 мм называются *прожилками*, менее - *просечками*. Сближенные между собой прожилки, развитые по одной или более ориентированным системам трещин, могут сформировать *прожилковую зону* или, как уже отмечалось, рудный штокверк.

Система поперечных прожилков, пронизывающих даiku или пласт хрупких пород, образует *лестничную жилу*.

Понятие "*седловидная жила*" и *дуговая жила*" не соответствует параметрам плоских тел. Поэтому в эту группу включены лишь те морфологические формы, которые имеют значительный радиус кривизны и значительную протяженность по простиранию в горизонтальном сечении.

Тела жильной формы распространены почти во всех типах эндогенных месторождений, особенно в гидротермальных.

## **Залежи**

Залежи в общем виде отличаются от жил согласным залеганием, более плавными округлыми контурами и значительно меньшими превышениями над мощностью двух других длинных измерений.

*Пластовые залежи* характеризуются примерно равными размерами по длине (простираению) и ширине (падению) и выдержанностью по мощности.

*Линзовидные залежи* - это небольшие несколько вытянутые рудные тела, с максимальной мощностью в центре и выклинивающиеся по периферии, или тела в форме диска.

*Пластообразные залежи* отличаются от пластовых неодинаковыми размерами в продольном сечении и большей изменчивостью мощности. Помимо приуроченности к литологическим горизонтам, они могут залегать по поверхности согласного интрузива, образуя *контактные залежи*.

*Куполовидные залежи* образуют свод купольной структуры в контрастных по прочности свойствах породах.

*Манто* - это плитообразные залежи с овальным поперечным сечением, пологим залеганием и вытянутостью согласно стратификации пород.

*Роллы* являются сложными внутрислоевыми образованиями, по форме которых выделяют седловидные, линзовидные, складчатые и другие роллы.

*Флексурная залежь* согласно залегает в пластах с аналогичной формой изгиба.

Пластовые и линзовидные залежи характерны для экзогенных, некоторых магматических позднекристаллизационных и гидротермальных вулканогенных месторождений. Пластовые тела большей частью сингенетичны с осадочными и вулканогенно-осадочными формациями и иногда занимают большие территории. Сложные по форме пластообразные, контактные и линзообразные залежи преобладают в ликвационно-магматических, скарновых, альбитит-грейзеновых и метаморфогенных месторождениях. Флексурные залежи встречаются в стратиформных месторождениях, а роллы - типичные инфильтрационные образования. Купола, являясь структурными ловушками, могут вмещать залежи нефти и газа, каменной соли и сурьмяно-ртутных руд.

### *Линейные тела*

Тела, линейно-вытянутые по одной оси, имеют цилиндрическую или удлиненную призматическую форму. Кроме того, продольные фрагменты цилиндрических тел рассматриваются как седловидные и желобовые тела.

### **Цилиндрические тела**

*Трубчатые тела* имеют круглые или овальные контуры поперечного сечения и крутое склонение на глубину по длинной оси. Если сплошное трубчатое тело ограничено только внешним контуром, то в кольцевых телах рудные образования заключены между внешним и внутренним контурами, а ядерная часть сложена вмещающими породами. От трубчатых тел часто наблюдаются ответвления с изометричным поперечным сечением, называемые *рудными рукавами*.

Трубчатые тела характерны для алмазоносных кимберлитов и лампроитов, редкометалльных и апатито-магнетитовых карбонатитов, вулканогенно-гидротермальных магно-магнетитовых месторождений.

*Трубообразные тела* отличаются от трубчатых более сложной формой, нередко обусловленной проявлением рудного метасоматоза, например, на полиметаллических месторождениях в карбонатных формациях на участках взаимного пересечения тектонических трещин.

*Рудные столбы, и столбчатые тела.* Первые представляют собой крутосклоняющиеся обогащенные участки в жилах или рудоносных зонах по их падению вторые - самостоятельные морфологические образования с различными углами падения. Образование тех и других связано в основном со структурно-литологическими факторами.

*Антиклинальные* или *седловидные тела*, согласно А. Королеву и П. Шехтману, возникают вокруг штока, повторяя его форму, или занимают осевую сводовую часть складок на контакте пород с различной компетентностью.

*Синклинальные* или *желобовые тела*, имея очевидное сходство с седловидными формами, отличаются своей вогнутостью в подстилающие породы.

#### **Призматические тела**

Контурами призматических тел с треугольным или многоугольным поперечным сечениями служат сопряженные между собой тектонические трещины различных направлений, обычно развитые в вулканотектонических структурах. Такие тела типичны для карбонатитовых месторождений.

*Ленточные тела* имеют прямоугольное или овальное поперечное сечение и протяженность согласно напластованию. При секущем положении такие формы тел называют *брусковидными*. *Струйчатые тела* - это прослеживающиеся по простиранию обогащенные полосы, характерные для россыпей золота, касситерита и редких металлов.

Для перечисленных линейных тел наиболее информативной является система разрезов (сечений) ортогональных к удлиненной оси тела, совпадающей с единственным направлением анизотропии, поскольку в плоскости кругового сечения тело практически изотропно.

Тела крайне изменчивой конфигурации при оконтуривании обычно приводят к формам, рациональным для их обработки.

Залежи нефти и газа подразделяют на пластовые (сводовые и экранированные) и массивные; выделяют также линзы и зоны с повышенной пористостью иногда трещиноватостью.

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Какие факторы положены в основу генетической классификации?
2. Перечислите генетические классы месторождений
3. Какие месторождения называются полигенными, полихронными, регенерированными?
4. Какова роль складчатых и разрывных структур в рудообразовании?
5. Охарактеризуйте трещины отрыва и скола?
6. В чем различие понятий "шток" и "штокверк"?
7. Перечислите разновидности сложных жил, залежей, цилиндрических и призматических тел.
8. Что называется коэффициентом минимальной промышленной концентрации ?
9. Что выражает фазовый состав руд?
10. Приведите примеры генетически-типоморфных структур и текстур руд.

**Эндогенная серия: образование и размещение магматические флюидно-магматические (кристаллизационные, ликвационные, пегматитовые, карбонатитовые) месторождения — 6 ч.**

**Тема: Магматические месторождения. Кристаллизационные, ликвационные, пегматитовые, карбонатитовые.**

План лекции:

1. Геологические и физико-химические условия образования.
2. Формы рудных тел, минеральный состав, текстуры руд.
4. Основные рудные формации с примерами месторождений.
5. Промышленное значение.

**Магматические месторождения. Кристаллизационные, ликвационные.**

Магматические месторождения являются производными магмы и формируются в процессе внедрения и затвердевания ее расплавов. Магмообразующие очаги могут быть мантийного (на глубине порядка 100-130 км) или корового (на глубине около 20 км)

происхождения. Мантийные расплавы содержат повышенные концентрации сидерофильных и халькофильных элементов, а коровые обогащены литофильными элементами.

Дифференциация (разделение) компонентов в магматическом расплаве осуществляется под действием силы тяжести, или *гравитации*.

При подъеме и внедрении магматического расплава происходит его смешение с переплавленными вмещающими породами или легколетучими компонентами. Такое изменение состава магмы называется *контаминацией*. Процесс усвоения магмой постороннего вещества с полным его переправлением называется *ассимиляцией*.

Таким образом, часть рудных компонентов могла быть захвачена расплавом из магматического очага, а другая часть мобилизована из вмещающих пород в процессе ассимиляции. Контаминация расплава существенно влияет на ход кристаллизационной дифференциации.

Кристаллизация металлоносного расплава может начаться в магматическом очаге и продолжаться как на пути подъема расплава, так и на месте становления интрузива.

При постепенном подъеме глубинного расплава по магматической колонне и относительно спокойном внедрении кристаллизация происходит синхронно с дифференциацией и приводит к образованию расслоенных интрузий. Дифференциации основных-ультраосновных расплавов при благоприятных петрохимических и термодинамических факторах может предшествовать *ликвация*. Она происходит при 1500-1200°C и заключается в разделении сульфидно-силикатной магмы на два несмешивающихся расплава: силикатный и сульфидный. Кристаллизация сульфидного расплава в определенных тектонических условиях может завершиться образованием медно-никелевых руд.

При быстром подъеме мантийного ультраосновного-щелочного расплава и эксплозивном внедрении его в гипабиссальной зоне образуются эруптивные брекчии, состоящие из раскристаллизованных протоматических пород порфировой структуры и захваченных обломков вмещающих пород. Такие неоднородные по составу породы называются *кимберлитами*. В них могут находиться алмазы в промышленных концентрациях. Их раскристаллизация происходила раньше всех других минералов. Поэтому месторождения алмазоносных кимберлитов относят к раннекристаллизационным образованиям.

Содержания рудных компонентов ранней кристаллизации редко достигают промышленных значений.

Большая часть рудных минералов затвердевает в позднюю стадию, после раскристаллизации основной массы силикатных и алюмосиликатных минералов. Однако обособление рудных компонентов начинается уже в жидкой и газообразной фазах в результате процессов конвекционного теплового движения вещества магмы и обусловленной ими диффузии металлических соединений. *Диффузия* - это перемещение химических компонентов в направлении убывания их концентрации.

С поздней стадией кристаллизации металлических соединений связано образование сидеронитовой структуры руд, отражающей последовательную раскристаллизацию вначале породообразующих силикатных и алюмосиликатных минералов, а затем рудных, играющих роль цементирующего вещества. Иногда образуются массивные сплошные руды, состоящие целиком из рудных минералов. Среди позднемагматических образований встречаются промышленные скопления хромитов, платины, титаномагнетитов, литофильных редких и редкоземельных металлов, апатитов.

Геологическое положение магматических месторождений определяется их приуроченностью к определенным интрузивным комплексам, сформировавшимся в различных геодинамических обстановках в эпохи реювенации.

Морфология рудных тел магматических месторождений обусловлена процессами ликвационной и кристаллизационной дифференциации расплавов, динамикой, механизмом

и последовательностью их внедрения и тектоническими факторами, определяющими формирование различных типов структур месторождений.

Вещественный состав руд кристаллизационных титаномагнетитовых месторождений характеризуется низким содержанием железа, повышенными, иногда промышленными, концентрациями титана и сопутствующей полезной примесью ванадия. Иногда отмечается рассеянная платина. Хромитовая руда представлена хромшпинелидами, среди которых выделяют магнохромит, алюмохромит и другие минеральные виды.

В нефелин-сиенитовых полифазных дифференцированных интрузивах локализованы пластовые залежи, секущие жилы и линзы апатитовых и редкометалльно-редкоземельных месторождений. Особенность месторождений поздней кристаллизации - их большие размеры.

С эксплозивным внедрением ультраосновных щелочных магм связывают алмазоносные диатремы. Высокие температура и давление образования кристаллов алмазов, их идиоморфный облик свидетельствуют о ранней стадии кристаллизации, а брекчиевые текстуры кимберлитов и трубчатые формы тел указывают на взрывную динамику внедрения пикритовых расплавов. Диатремы в плане могут иметь округлую сложную конфигурацию. Известны трубчатые тела площадью от  $n \cdot 10 \text{ м}^2$  до  $1625 \text{ м}^2$ .

С глубиной сечение трубок значительно сокращается и они принимают форму даек. Спутником алмазов в кимберлитовых трубках является пироп. Месторождения алмазов, связанные с лампроитовой формацией, имеют жильную форму, а спутником алмазов служит минерал из группы хромшпинелидов.

**Ликвационные месторождения** образуются путем разделения магмы на две несмешивающиеся части – силикатную и рудную, кристаллизующиеся отдельно. Они связаны с магматическими породами габбровой и щелочной формаций, характерными для платформ, где образуются в процессе тектоно-магматической активизации и контролируются глубинными разломами. Скопления руд связано с пологими плоскими расслоенными массивами зонального строения, выраженным в смене снизу вверх от наиболее основных разностей к наименее основным. К ним относятся:

- 1) медно-никелевые сульфидные;
- 2) хромитовые, титаномагнетитовые и платиноидные;
- 3) редких, редкоземельных и рассеянных элементов.

При высоких температурах магматический расплав представляет собой единую рудно-силикатную магму. По мере ее остывания рудный расплав выделяется из этой смеси.

Форма рудных тел ликвационных месторождений – жилы, сложные жилы, гнезда, линзы, штоки. Основными рудными минералами являются пирротин, пентландит и халькопирит.

Выделяются три основных типа месторождений: тип Садбери, Дулутский тип и Норильско-Таланахский тип.

Тип Садбери связан с лополитообразным никеленосным габбро-норитовым плутоном, отличающимся от других рудоносных массивов высоким содержанием кварца, за счет чего магма стала вязкой и неспособной к расслоению. Термодинамический анализ системы FeO-SiO<sub>2</sub>-FeS<sub>2</sub> показал, что добавление в нее кварца способствовало к сегрегации растворенных сульфидов без одновременного осаждения силикатов. Имеется две основных гипотезы. Согласно одной месторождение приурочено к докембрийской кальдере, расположенной на глубинном расколе, по другой – рудоносная магма внедрилась также в древний раскол, но образованный упавшим метеоритом.

Дулутский тип. Оруденение ассоциируется с норитами, трактолитами, реже дунитами и перидотитами комплексных интрузивов, залегающих в платобазальтах оз. Верхнего. Сульфидные залежи накапливались в основании перидотитовых разностях.

Норильско-Таланахский тип связан с минерализованными триасовыми гипабиссальными силами, сложенными в основании пикритами и пикритовыми долеритами, а в кровле фельзитовыми разностями. В лежачем боку силлов выделяются горизонты

сплошных руд, с которыми ассоциирует наиболее богатая медно-никель-платиновая минерализация. В кровле интрузивов развиты вкрапленные руды, а в подошве во вмещающих породах – прожилково-вкрапленные.

В докембрийских зеленокаменных поясах развито два рудномагматических типа месторождений – толеитовый и коматеитовый.

Толеитовый тип локализуется в раннепротерозойских вулканогенно-осадочных мобильных прогибах. Примеры Печенга на Кольском полуострове и Линк-Лейк в Канаде. В Печенгском рудном районе известно три типа рудных тел: 1) сплошные в подошве интрузий в перидотитах, 2) брекчиевые в тектонических зонах, 3) прожилки во вмещающих тектонических сланцах. Первые два обогащены никелем  $Cu/(Cu+Ni)=0,28$ , в третий им обеднен  $Cu/(Cu+Ni)=0,51$ .

Коматеитовый тип связан с архейскими зеленокаменными поясами. Выделяют три группы месторождений: вулканогенные, субвулканические и плутоногенные.

Коматеиты представляют собой эффузивные ультраосновные породы со структурой спинифекс – пластинчатых и древовидных скелетных выделений оливина. Особенностью коматеитов является высокое содержание  $MgO$  ( $>18\%$ ). Для вулканогенных месторождений характерны невысокие общие запасы руд (около 5 млн.т), но повышенные концентрации никеля (1,5-3,5%).

Субвулканическая группа широко распространена в зеленокаменных протерозойских поясах в районе Манитоба (Канада) в никеленосных провинциях Западной Австралии и Южной Африки. Руды располагаются в основании линз перидотитов. До 80 % запасов (80%) – 40-50 млн. т приходится на рудные штокверки. Содержание  $Ni \approx 1,5-2,5\%$ .

Плутоногенная группа также приурочена к протерозойским зеленокаменным поясам (Сикс-Майл в Зап. Австралии). Оруденение вкрапленное локализуется в дунитовом ядре ультраосновных массивов, имеющих перидотитовую оболочку. Запасы руд составляет сотни миллионов тонн при низком (0,6%) содержании никеля.

По концепции А.П. Лихачева и А. Налдретта кристаллизация расплава происходила с последовательным выделением пирротина, затем пентландита и в заключении халькопирита.

2 Хромитовые, титаномагнетитовые и платиноидные месторождения развиты в расслоенных массивах, относящихся к тектоноплутоническому типу областей протоактивизации докембрия. К наиболее известным рудоносным массивам относятся Бушвельд и Великая Дайка Зимбабве в Южной Африке, Чинейский в Забайкалье, Стилутер в США и др.

Месторождения приурочены к расслоенной серии ультраосновных и основных пород (норитовый комплекс), где выделяются:

- 1) горизонты дунитов с хромшпинелидами, местами платиноносными;
- 2) горизонты анортозитов с титаномагнетитами;
- 3) горизонты норитов с платиноносными сульфидами.

Наиболее характерным примером является горизонт Меренского в Бушвельдском массиве, сложенный диалоговыми норитами с прослоями хромита и скоплениями сульфидов железа, никеля и меди, при высоком содержании связанных с ними платины и палладия.

Великая Дайка представляет собой линейно-вытянутый в длину на 500 км лополит, имеющий ширину 6-7 км. Этот расслоенный массив состоит из серии ритмов габбро-пироксенитового состава с горизонтами хромитов среди пластов гарцбургитов.

**Раннемагматические месторождения.** К ним относятся такие месторождения, промышленные минералы которых выделялись из расплава раньше, чем сопутствующие им породообразующие минералы. Примерами являются вкрапленные или шлировые хромитовые руды в перидотитах, титаномагнетитов в габброидах океанических структур, также алмазов, связанных с кимберлитами. Контролируемыми разломами тектонической активизации древних платформ. Практическое значение имеют только месторождения алмазов. Алмазоносные кимберлитовые тела сложены ультраосновной порфировой породой,

которая представляет собой либо остаточный продукт длительного фракционирования, либо результат частичной выплавки мантийного вещества. Они выполняют цилиндрические или овальные полости, образуя трубообразные тела (до сотен и тысяч метров в сечении). Примером могут служить Трубка Мир в Якутии и Мвауди в Танганьике.

Новым источником алмазов являются лампроиты. Это богатые калием и магнием основная и ультраосновная лампрофировая порода вулканического и интрузивного гипабиссального происхождения. Их форма – трубки, штоки, силлы и дайки. Примером может быть алмазоносное поле Бит Спринг (Австралия), где многочисленные трубки, сложенные оливиновыми и оливин-флогопитовыми лампроитами, прорывают докембрийские гранодиориты и девонские терригенно-карбонатные толщи. В последние десятилетия подобные образования обнаружены на севере Русской платформы – Архангельская алмазоносная провинция.

При поверхностном разрушении алмазоносных трубок образуются разнообразные континентальные и дельтовые морские россыпи.

Наиболее современная концепция происхождения алмазов рассматривает их как естественный раннемагматический акцессорный минерал кимберлитов и лампроитов.

**К позднемагматическим месторождениям** относят месторождения, промышленно-ценные минералы которых, образовались позднее основной массы сопутствующих породообразующих минералов из остаточных расплавов, обогащенных газожидкими минерализаторами, способствовавших задержке раскристаллизации таких расплавов до конца отвердевания массивов материнских пород. К таким месторождениям относятся:

- 1) хромитовые, связанные с перидотитовой формацией (Кемпирсайский хромитоносный массив);
- 2) титаномагнетитовые ассоциирующие с габброидными комплексами (Кусинское месторождение на Урале);
- 3) апатитовые, иногда с магнетитом, приуроченные к щелочным массивам (Хибинский массив, Кольский полуостров, Кируновара – Швеция).

## **Тема: Пегматитовые месторождения.**

### План лекции:

1. Морфология и минеральный состав пегматитовых тел
2. Керамические, хрусталеносные, редкометалльные и слюдоносные пегматиты

Пегматиты представляют собой обособленные в форме шлиров, жил, линз и межбудинных тел минеральные образования, близкие по составу к исходным, магматическим или метаморфическим породам. От вмещающих пород они отличаются разномасштабной, преимущественно крупномасштабной зональной структурой, наличием графических прорастаний кварца и микроклина, повышенным содержанием щелочей, легкоплавких солей и легколетучих компонентов.

Пегматиты кристаллизовались при температуре 374-650 °С и давлении 100-800 МПа. Эти образования (тела) в отличие от других генетических классов имеют широкое площадное распространение, формируя обширные пегматитовые поля, количество которых достигает  $n \cdot 10^4$ . Для пегматитов магматических комплексов материнскими могут быть породы как щелочноземельного (нормального) ряда, так и щелочного. Из пегматитов, ассоциирующих с породами нормального ряда, наиболее значимыми являются гранитные пегматиты. Они служат источником добычи пьезооптического, керамического и камнесамоцветного сырья, мусковита, кварца, топаза, многих литофильных редких и редкоземельных металлов. Месторождения урана и тория, олова, вольфрама и молибдена имеют подчиненное значение.

Пегматиты, производные основных и ультраосновных магм, характеризуются слабой рудопродуктивностью. Практическое значение щелочных пегматитов также невелико.

С ними связаны небольшие месторождения ниобия и редких земель. Пегматитовые поля встречаются на платформах, щитах, в срединных массивах и складчатых областях. Они приурочены к внутренним или околоинтрузивным зонам тектонических дислокаций. Благоприятными для пегматитообразования являются апикальные выступы гранитных интрузивов с пологой или волнистой кровлей в абиссальной зоне. Эти интрузивы с пегматитовыми полями пространственно тяготеют к внутренним осевым частям геоантиклинальных поднятий, формируя протяженные, от сотен до нескольких тысяч километров, пегматитовые пояса, например Кольско-Карельский, Забайкальский, Мамский.

Образование пегматитов происходило на всех тектономагматических этапах, совпадая с периодами сжатия земной коры, проявления гранитоидного магматизма и регионального метаморфизма. Максимум пегматитообразования приходится на докембрийские эпохи реювенации. Существует много гипотез, объясняющих источник пегматитообразующих минеральных веществ и содержащихся в них полезных компонентов, механизм их миграции и кристаллизации.

Обоснованными являются представления И. Фогта, П. Ниггли, А.Е. Ферсмана о кристаллизации пегматитов из остаточных магматических расплавов алюмосиликатного состава, обогащенных летучими веществами, в условиях закрытой системы, и взгляды А.Н. Заварицкого, В.Д. Никитина и других исследователей о перекристаллизации и метасоматическом замещении пород под действием газовой-гидротермальных растворов в условиях открытой системы и нарастания интенсивности проявления тектонических дислокаций.

Согласно работам В.А. Николаева, В.С. Соболева, К.К. Ландеса, пегматиты формировались в два этапа. На первом этапе из остаточных расплавов в условиях относительно закрытой системы кристаллизовались простые пегматиты. На втором этапе в результате поступления новых порций растворов происходили процессы метасоматического замещения одних минералов другими с образованием рудопродуктивных дифференцированных пегматитов.

А.Е. Ферсман гранитные пегматиты подразделил на пегматиты чистой линии, залегающие в материнских породах гранитного комплекса, и пегматиты линии скрещения, локализующиеся в породах иного состава. Пегматиты чистой линии имеют состав, тождественный с гранитами, и служат источником добычи полезных ископаемых, указанных для гранитных пегматитов.

Среди пегматитов линии скрещения выделяются *десилицированные* пегматиты. Они образуются в процессе кристаллизации кислого остаточного расплава в ультраосновных или карбонатных породах, когда происходит привнос в эти породы калия и кремнезема. При этом могут возникнуть тела корундовых плагиоклазитов со слюдяной оторочкой, в которой встречаются берилл, турмалин, флюорит.

В современном генетическом подразделении гранитных пегматитов на четыре группы: 1) простые, 2) перекристаллизованные, метасоматически замещенные и 4) десилицированные пегматиты - отражены основные процессы их формирования.

*Простые пегматиты*, сходные по химическому и минеральному составу с гранитами, со свойственной для них письменной (графической) структурой и азональным строением, действительно могли кристаллизоваться из остаточных магматических расплавов.

*В перекристаллизационных пегматитах* в основном наблюдаются зональные крупнозернистые минеральные новообразования мусковита, кварца и полевого шпата, свидетельствующие о перекристаллизации первичных минералов в процессе поступления газовой-гидротермальных растворов.

*Метасоматически замещенные пегматиты* характеризуются отчетливым зональным строением, отражающим смену во времени процессов калиевого метасоматоза,

вызвавшим грейзенизацию и серицитизацию, натровым метасоматозом с образованием зон альбитизации.

*Десилицированные пегматиты*, судя по составу, раскристаллизовались из контаминированного остаточного расплава, не только ассимилировавшего богатые кальцием боковые породы ультраосновного состава, но и частично отдавшего в них легкоподвижные компоненты.

Состав и внутреннее строение пегматитов зависит также от глубины их формирования. Основная масса пегматитов образуется в трех глубинных зонах: малых (до 3,5 км), средних (до 7 км) и больших (> 7 км). Пегматиты малых глубин являются хрусталеносными, средних - редкометалльными и олово-редкометалльными, больших глубин (7-11 км) - слюдоносными. Глубже идут безрудные пегматиты. Современное положение пегматитов относительно поверхности земли обусловлено пострудными тектоническими дислокациями и величиной эрозионного среза.

*Пегматиты малых глубин* сформировались непосредственно в материнских гранитных формациях в относительно спокойной тектонической обстановке. Они приурочены либо к мелким штокам и куполам, либо межформационным интрузивами, с площадью выходов более 200 км<sup>2</sup>.

*Пегматиты средних и больших глубин* залегают в приконтактовых зонах преимущественно крупных гранитных массивов, где развиты вмещающие породы зеленосланцевой, амфиболитовой и реже гранулитовой фаций метаморфизма. Их образование связано с гранитными интрузиями, контролируруемыми глубинными разломами, и протекало в сложных тектонических условиях.

Пегматиты по условиям залегания относительно вмещающих пород могут быть сингенетическими и эпигенетическими. Пегматиты сингенетические, их также называют камерными, являются автохтонными (не перемещенными) образованиями в материнских породах, сформировавшимися в интервале первоначальных глубин от 1,5 до 10 км и более. Эпигенетические пегматиты залегают часто вне материнских пород, образуя жилы, связанные с тектоническими нарушениями.

#### ***Морфология и минеральный состав пегматитовых тел***

Пегматитовые тела могут иметь как простую, так и сложную форму и самые различные размеры, от первых метров до первых километров. Это зависит в основном от глубины образования и тектонических условий.

В области малых глубин пегматитовые тела в большинстве являются сингенетическими по отношению к материнским гранитам. Для этих пегматитов характерны постепенные переходы в граниты, камерные жилы, шпировая и трубчатая формы и небольшие (до 25 м в поперечнике) размеры тел с овальными очертаниями, наличие миароловых пустот, занорышей с кварцевыми ядрами, зияющих трещин, часть из которых заполнена гидротермальными жилами.

*Миароловые пустоты* занимают пространство между кристаллами. *Занорышами* называют полости, приуроченные к центральной части пегматитового тела. Объем занорышей достигает сотен кубометров. В них могут вырастать гигантские кристаллы кварца, амазонита и других минералов весом в десятки тонн.

Пегматитовые тела средних и больших глубин, являясь в основном эпигенетическими образованиями, отличаются от пегматитов малых глубин четкими контактами, наличием в зальбандах оторочек, крупными размерами (часто 10-10 м, иногда 10 м и более), плитообразной и штоковой формой. *Зальбанды* - это боковые части жил, контактирующие с вмещающими породами. Оторочки чаще всего бывают слюдяными. Размещение таких пегматитовых тел и условия локализации контролируются формой кровли интрузива, складчатыми и разрывными нарушениями. Занорыши встречаются редко, и они мелкие.

Во всех глубинных зонах встречаются жильные, линзовидные и округлые формы тел пегматитов, а в метаморфических формациях, кроме того, широко развиты межбуждинные тела.

Эпигенетические пегматитовые тела, наложенные на более древние складчатые структуры, занимают обычно секущее положение, выполняя трещины в складках и зонах расланцевания. Они также могут залегать в контракционных трещинах и тектонических разрывах, внутри и в приконтактных зонах гранитных интрузивов. В пегматитовых телах сложной формы отмечается наличие раздувов (резкое увеличение мощности на отдельных участках), пережимов и апофиз, расщепление на флангах при вклинивании.

По минеральному составу пегматиты могут быть простыми или сложными. Это зависит от состава исходных остаточных магматических расплавов, глубины затвердевания и последующих процессов перекристаллизации и метасоматоза. Простые пегматиты, с графической структурой, сформировавшиеся в условиях малых глубин, состоят из полевого шпата (74 %) и кварца (26 %). Согласно А.И. Гинзбургу, вокруг миароловых пустот и в них самих развита альбитизация пород, сопровождающаяся выщелачиванием кварца с замещением калиевого полевого шпата альбитом. Б.А. Колбин указывает также на околожильную серицитизацию вмещающих пород.

По А.Н. Лукашеву, пегматиты малых глубин и грейзеновые тела часто пространственно совмещены, имея сходный минеральный состав. В одном из пегматитовых полей Казахстана к повсеместно или часто встречающимся минералам относятся: в гранитах, пегматитах и грейзенах - флюорит, гидрооксиды железа, ильменит, магнетит, жильбертит; в пегматитах и грейзенах - галенит, гематит, колумбит, гидрослюда, каолинит; в пегматитах и гранитах - альбит, рибекит, монацит; только в пегматитах - рутил и фенакит.

В пегматитах средних глубин основными минералами являются микроклин, кварц, альбит и мусковит. Кроме того, в промышленных концентрациях встречаются минералы редких и редкоземельных элементов: сподумен, лепидолит, берилл, пирохлор, колумбит, танталит, ортит, ксенотим, монацит, поллуцит. Широко известны также олово-редкометалльные пегматиты с касситеритом. Например, месторождение Мононо-Китотоло (Заир), в пегматитовых телах которого развиты касситерит, колумбит, танталит, сподумен.

Основными породообразующими минералами пегматитов больших глубин служат олигоклаз, микроклин и кварц. В пегматитовых телах интенсивно проявлено кварц-мусковитовое замещение; рудные образования не встречаются.

#### ***Керамические, хрусталеносные, редкометалльные и слюдоносные Пегматиты***

**К е р а м и ч е с к и е**, или простые, пегматиты, являющиеся иногда хрусталеносными, обнажаются на дневной поверхности при глубине эрозивного среза более 2 км.

Они состоят в основном из калиевых полевых шпатов (микроклина), альбита и кварца. Микроклин и альбит образуют микроклин-пертитовые сростки кристаллов со структурой распада твердых растворов. В калиевые полевые шпаты изоморфно входят рубидий, цезий, барий, трехвалентное железо и др. Производными керамических пегматитов служат остаточные расплавы гранитной магмы, кристаллизующиеся в условиях малых глубин.

Промышленное значение имеют крупно и гигантокристаллические пегматиты, особенно сближенные жилы дифференцированных зональных пегматитов, например Чупинская группа месторождений в Карелии.

**Х р у с т а л е н о с н ы е** пегматиты залегают в форме небольших (до десятков метров в поперечнике) изометричных, трубообразных и линзовидных тел, имеющих зональное строение. Они относятся к типу камерных пегматитов с ядром, представленным гигантокристаллическим блоковым серым кварцем, крупными кристаллами горного хрусталя, мориона и кристаллами топаза, флюорита и другими сопутствующими минералами в полостях, заполненных слюдисто-глинистыми образованиями.

Камерные пегматиты имеют зональное строение: кварцевое ядро окружают зоны микроклина и полевошпат-кварцевая, переходящие в зону графического пегматита, которая, в свою очередь, может сменяться аплитовой оторочкой либо постепенно переходить в граниты. Такие пегматиты известны на Украине и в Казахстане.

**Р е д к о м е т а л л ь н ы е** пегматиты сформировались в процессе перекристаллизации и метасоматического замещения исходных минеральных образований в условиях средних глубин. Они имеют внутреннее зональное строение (рис. 8). Пегматитовые тела в горизонтальном сечении характеризуются концентрически-зональным строением: внутри блоки кварца и микроклина, затем зоны альбита, сподумена и мусковита с кварцем, сменяющиеся зоной графического кварц-микроклина. По периферии внутренних блоков могут дискретно находиться минералы редких и радиоактивных металлов, а также касситерит и вольфрамит. Их скопления иногда достигают промышленных значений. Чаще такие пегматитовые образования играют роль россыпеобразующих комплексов этих металлов.

**С л ю д о н о с н ы е** гранитные пегматиты также образовались в эндогенном режиме в результате длительной перекристаллизации и метасоматических замещений в исходных пегматоидных телах под влиянием газовой-гидротермальных растворов, поступавших из глубинных разломов. Эти пегматиты служат основным источником добычи мусковита. Самые значительные месторождения мусковита находятся на платформах и щитах, залегая в гранитно-метаморфических формациях пород амфиболитовой фации метаморфизма. Уникальные слюдоносные гранитные пегматиты известны в Мамско-Чуйской провинции (Забайкалье).

## **Тема Карбонатитовые месторождения**

### План лекции:

1. Условия образования и минеральный состав
2. Геологическое строение флогопитовых, апатит-магнетитовых и редкометалльных карбонатитов

### **Условия образования и минеральный состав**

Карбонатитовые месторождения являются производными подкоревой магмы сложного состава, при кристаллизации которой в структурах центрального типа формировались массивы, сложенные ультра-основными-щелочными породами и карбонатитами. На земном шаре известно более 250 карбонатитовых массивов, объединенных в провинции. В России исследованы Карельско-Кольская, Восточно-Саянская, Алданская, Сихотэ-Алинская и другие провинции.

**К а р б о н а т и т ы** - это последовательно сформировавшиеся в ультраосновных или щелочных ультраосновных породах эндогенные образования кальцита, доломита, реже анкерита и сидерита в ассоциации с магнетитом, апатитом, флогопитом, иногда сульфидами меди, цинка и свинца. Акцессорными минералами являются: бадделейт -  $ZrO_2$ ; пирохлор -  $(Na, Ca, Ce)_2(Nb, Ti, Ta)_2O_6(O, OH, F)$ ; гатчетолит (урансодержащий пирохлор); карбонаты редких земель (бастнезит, паризит, синхизит) и фосфаты (монацит и др.). Поэтому карбонатитовые месторождения характеризуются комплексным составом руд и служат источником добычи магнетитовых, апатитовых и медных концентратов, флогопита, реже флюорита и карбонатного сырья, а также ниобия и редкоземельных металлов цериевой подгруппы. Кроме того, из руд некоторых месторождений попутно могут извлекаться тантал, цирконий, титан, уран, молибден, цинк и свинец.

Рудоносные карбонатиты находятся как на периферии платформ, так и в центральных частях на границе приподнятых и опущенных блоков, но обязательно в пространственной связи с глубинными разломами. Они также могут быть приурочены к зонам сочленения платформ и складчатых областей.

Формирование ультраосновных - щелочных с карбонатитами массивов (назовем их карбонатитовыми) протекало длительное время (от 10-50 до 200-250 млн лет) в несколько этапов: на раннем этапе происходило внедрение ультраосновных пород, на позднем - щелочных и на заключительном этапе образовались карбонатиты.

Длительность и многоэтапность становления этих массивов и предшествующая дифференциация мантийной магмы обусловили разнообразие их петрографического состава и в то же время единство ультраосновных и щелочных пород. Массивы сложены пироксенитами, перидотитами и оливинитами, ийолитами и урритами, нефелиновыми и щелочными сиенитами и карбонатитами. Такие массивы называются *многофазными*. Для них характерна многостадийная минерализация. Эти массивы в диаметре до 8 км и более проявляются в верхней части как вулканические сооружения, далее на глубину - как субвулканические фации, переходящие затем в гипабиссальные интрузивы. Следовательно, необходимо учитывать возможную эволюцию генезиса карбонатитов. Глубинные их части могли сформироваться по аналогии с магматическими месторождениями, а приповерхностные развиваться по схеме постмагматических образований.

Согласно А.А. Фролову, большинство карбонатитовых массивов имеют штокообразную форму и зонально-кольцевое строение. Внутри карбонатитовых массивов находятся центральные штоки карбонатитов, приуроченные к цилиндрическим трубкам взрыва. Размеры штоков в поперечнике изменяются от сотен метров до нескольких километров. От них отходят радиальные, кольцевые и конические трещинные структуры, представляющие собой дайко- и рудообразующие тела протяженностью в несколько сотен метров, мощностью в первые метры.

Они, по-видимому, возникли при изменении давления в глубинном магматическом очаге.

Слагающие массивы ультраосновные - щелочные комплексы пород и карбонатиты контролируются системами вертикально ориентированных кольцевых цилиндрических и центриклинальных конических разломов и радиальных трещин. Это обусловило разнообразие форм как самих массивов, так и слагающих их геологических тел (см. рис. 4).

Наряду с магматическими телами (цилиндрическими, коническими и линейными дайками, жилами и линзами) в карбонатитовых массивах залегают постмагматические штокверковые образования и метасоматические тела сложной формы. Такие структуры характерны для вулканических сооружений.

С глубиной вулканические аппараты постепенно переходят в штокообразные, а затем и трещинные тела в интервале глубины 7-10 км. До этого интервала может распространяться оруденение карбонатитового комплекса. Продолжение магматической колонны, уходящей в мантию, можно

Оруденение карбонатитового комплекса подразделяется на три рудные комплекса: 1) флогопит-апатит-магнетитовый, 2) тантало-ниобиевый и 3) флюорит-полиметалльный.

В последовательности кристаллизации карбонатных минералов выделяют три основные стадии карбонатитового процесса: 1) кальцитовая (650-390°C), 2) кальцит-доломитовая (420-300°C), 3) анкерит-сидеритовая (320-200°C). В такой же последовательности происходило усложнение минерального состава карбонатитовых образований и изменялось их положение от периферии к центру массива. Это, по мнению А.А. Фролова, обусловило формирование большинства карбонатитовых рудных полей и месторождений с центростремительной схемой горизонтальной зональности оруденения. *Центростремительной* называют зональность в случае локализации более раннего оруденения на периферии.

Более отчетливо проявлена прямая вертикальная зональность оруденения - результат последовательного смещения вверх по разрезу магматических и постмагматических процессов. Как видно на, в основании разреза в ультраосновных породах залегают магматические титаномагнетитовые месторождения, сменяющиеся выше, в связи с ультраосновными - щелочными комплексами, карбонатитовыми образованиями апатит-

магнетит-флогопитовой формации, отвечающей ранней кальцитовой стадии процесса. На средних горизонтах в карбонатитах возникает тантало-ниобиевый комплекс, соответствующий поздней кальцитовой и кальцит-доломитовой стадиям.

Далее по разрезу состав карбонатитов усложняется и заканчивается разрез анкерит-сидеритовыми карбонатитами с комплексными рудами флюорит-полиметалльной формации с ториево-редкоземельным и другим оруденением.

Основными текстурами карбонатитовых руд являются: массивная, полосчатая, пятнистая и гнездово-вкрапленная; структура руд крупнозернистая.

Во вмещающих карбонатитовые массивы породах кислого состава происходил процесс *фенитизации*, проявленный в ближней зоне экзоконтакта привносом калия и натрия и выносом кремнезема. На месторождении Альнё (Швеция) этот процесс привел к образованию фенитов на большей части массива. В зоне эндоконтакта развивалась флогопитизация. Сами карбонатиты могут быть подвержены постмагматической карбонатизации с проявлением магнезиального и железистого метасоматоза.

### ***Геологическое строение флогопитовых, апатит-магнетитовых и редкометалльных карбонатитов***

Флогопит-apatит-магнетитовый комплекс объединяет флогопитовый, апатит-магнетитовый и одноименный с комплексом минеральные типы руд. Они могут быть представлены в любых сочетаниях в пределах одного карбонатитового массива, рудного поля или месторождения, образуя цилиндрические, конические и дуговые жилы, штокообразные тела. Структура руд крупнозернистая; текстура - массивная; реже полосчатая. Средние содержания железа около 30%, пятиоксида фосфора - 10 %. Содержание кондиционного флогопита изменяется от десятков и сотен килограммов на кубометр до сплошных слюдяных масс. Обычно качество слюды невысокое, запасы большие. К этому комплексу относятся месторождения Ковдорское (Россия), Альнё, Букусу (Уганда).

Ковдорское месторождение является единственным в РФ эксплуатируемым месторождением этого комплекса. Оно находится на Балтийском щите и приурочено к Ковдорскому многофазному массиву центрального типа, сложенному оливинитами, пироксенитами, перидотитами, разностями нефелиновых сиенитов и карбонатитам. Редкометалльные карбонатиты подразделены на два комплекса: тантало-ниобиевый и флюорит-полиметалльный.

Т а н т а л о - н и о б и е в ы й комплекс представлен пирохлоровым и пирохлор-гатчеттолитовым минеральными типами месторождений, содержащими основную долю ниобиевых руд.

Самыми крупными пирохлоровыми карбонатитовыми месторождениями мира являются: Тапира (Бразилия), Ока (Канада) и др.

Пирохлор-гатчеттолитовая минерализация в ряде массивов связана с апатит-магнетитовым оруденением, альбититами, апатит-кальцитовыми и апатит-кальцит-доломитовыми карбонатитами. Содержание в комплексных рудах фосфора составляет 3-5 %. Геологическое строение таких массивов и морфология рудных тел приведены на рис. 6.

Ф л ю о р и т - п о л и м е т а л л ь н ы й комплекс характеризуется разнообразием минеральных типов месторождений. Среди них выделяются группа редкоземельных типов (паризит-бастнезитовый, монацитовый и колумбит-бастнезитовый, месторождения Маунтин-Пасс, США и др.), а также борнит-халькопиритовый, галенит-сфалеритовый и флюоритовые типы.

Борнит-халькопиритовая и другая медная минерализация достигает промышленных концентраций лишь на одном карбонатитовом месторождении комплексных руд Палабор (ЮАР). Оно представлено карбонатитовым штоком сечением 0,5 x 0,7 км в ультраосновных породах, прорывающих архейские граниты. По периферии штока развиты магнетит-apatитовые руды. В центральной его части, в карбонатитах, на глубину до 900 м прослежены зоны прожилково-вкрапленных руд с содержанием меди 0,3 - 0,6 %.

Во многих карбонатитовых массивах отмечаются невысокие концентрации постмагматической сульфидной минерализации свинца, цинка, молибдена, а также флюорита, барита, целестина и торийсодержащего пирохлора.

### **Тема Постмагматические процессы. Альбититовые и грейзеновые месторождения.**

#### План лекции:

1. Общие понятия о постмагматических процессах, метасоматоз.
2. Геологические и физико-химические условия образования.
3. Изменение кислотности-щелочности, геолго-структурные особенности формирования.
4. Формы рудных тел, минеральный состав, текстуры руд.
5. Основные рудные формации с примерами месторождений.
6. Промышленное значение.

В результате постмагматических процессов образуются скарновые, альбитит-грейзеновые и гидротермальные месторождения. Они, как и магматические, пегматитовые и карбонатитовые месторождения, являются магматогенными образованиями, но в отличие от них связаны с магматическими комплексами пород не генетически, а парагенетически.

Постмагматические рудообразующие процессы

#### *Природа растворов*

Главное в познании природы газово-гидротермальных растворов - это проблема их источников, и прежде всего источников воды как растворителя.

Высокая подвижность и зачастую полихронность формирования таких растворов обуславливает их гетерогенную природу. Многие исследователи считают, что изначальным источником воды гидротермальных систем является магма, в основном корового и частично мантийного происхождения. Подкорковые воды, поступающие в виде потоков глубинных флюидов из мантии при первичной её дегазации, называют *ювенильными*. В отличие от коровых магматических вод, очевидно, они не вовлекались в круговорот вещества, протекавшего в верхних оболочках Земли на протяжении её геологической эволюции. Ювенильные воды и летучие компоненты прошедшие через коровый магматический процесс называются *возрожденными* (К.А. Скрипко и др.)

В современных спрединговых (рифтовых) зонах морей и океанов в рециклинговый гидротермальный процесс могут вовлекаться огромные массы морской воды. Этот процесс наиболее активно проявляется в осевой части срединно-океанических хребтов, зонах перехода континентальных структур к океаническим, где широко развит островодужный магматизм, а также в задуговых и междуговых бассейнах. В результате излияния рециклинговых вод и осаждения из них минеральных веществ образуются сооружения в форме : холмов, колонн, труб высотой 10-50 м, диаметром от  $\varnothing 10$  см до  $\varnothing 10$  м и даже сотен метров. Изливающиеся из них растворы черного цвета с жерловой температурой 250-380°C получили название "черных курильщиков". С изометричными сооружениями связаны белые "курильщики" с температурой в устье 10-300°C.

Другим важным источником воды служат горные породы, подвергшиеся прогрессивному метаморфизму. Под действием внутреннего тепла Земли происходит их *дегидратация*, что означает обезвоживание минералов в результате утраты ими молекул гидроксильных групп (ОН) и кристаллизационной воды. Высокое давление способствует отжатию свободной воды. Такие воды называются *метаморфическими*.

В близповерхностных частях земной коры происходит питание гидротермальных растворов атмосферными (метеорными) водами. Эти воды в условиях глубокой подземной циркуляции называют *вадозными*. Их нагрев может осуществляться как за счет геотермического тепла, так и за счет магматической энергии. Широкое распространение они имеют в районах проявления вулканизма.

Источники минеральных веществ гидротермальных растворов могут быть магматического и не магматического происхождения. Первые из них подразделяются на

мантийные (ювенильные) и коровые (ассимиляционные). С мантийными источниками связано поступление в растворы главным образом сидерофильных и халькофильных металлов фемического и сиальфемического профиля, а с коровыми - литофильных редких, редкоземельных и некоторых других элементов.

За пределами магматических камер в процессе циркуляции растворов происходит выщелачивание из окружающих пород рудообразующих компонентов в основном с литофильными свойствами. Такие внемагматические источники называют *фильтрационными*. Иногда роль фильтрационных источников в образовании постмагматических месторождений становится определяющей.

*Состав растворов, причины и пути их движения, формы переноса и механизм осаждения минеральных веществ*

Состав гидротермальных растворов прежде всего зависит от их природы, а в каждом конкретном случае определяется также совокупностью физико-химических и геолого-структурных условий их формирования.

Универсальными по рудонасыщенности являются ювенильные растворы, возникающие из флюидов мантийного происхождения. *Флюид* представляет собой газовой-водный металлоносный раствор в надкритическом состоянии.

В составе ювенильных растворов преобладают хлориды, кремнезем, фтористые соединения, силикаты щелочных и щелочноземельных металлов. В растворенном состоянии присутствуют газы  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{F}_2$  анионы хлора, фтора,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , катионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mo}^{+2}$ , а также в незначительных количествах другие металлы. В концентрированных ювенильных рассолах могут быть очень высокие содержания различных металлов.

В рециклинговых водах отмечается повышенное относительно глубоководных морских вод содержание Fe, Mn, Zn, Си, Al, Ag, Pb, Co, As, Se, обогащение  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$  и обеднение  $\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_4$ , Mg,  $\text{NO}_3$ , Cl (А.П.Лисицын, 1993).

Метаморфические воды выщелачивают рудообразующие вещества из боковых пород, в особенности петрогенные элементы, входящие в состав жильных минералов. Иногда развиваются процессы гидротермального метасоматоза. При этом растворы могут обогащаться некоторыми металлами в форме комплексных соединений.

Метеорные воды содержат иногда повышенные концентрации железа, меди, свинца, цинка и ряд других компонентов. В обогащенные этими компонентами метеорные воды в вулканических областях отмечается поступление глубинного пара и превращение их в гидротермальные системы.

Причины движения растворов могут быть различными. Для ювенильных восходящих растворов - это давление газов. Ювенильные и метаморфические растворы поднимаются также за счет давления, создаваемого вышележащими породами. Метеорные воды возвращаются вверх в результате гидростатического напора вод артезианского типа. Не исключается всасывающее действие открывающихся на глубине трещин.

Циркуляция гидротермальных растворов происходит по трещинам горных пород. Важное значение при этом имеют крупные разломы. Они могут выполнять роль каналов, проводящих рудные растворы, и непосредственно вмещать рудную минерализацию. Движение гидротермальных растворов может также происходить через поры пород, вызывая явление диффузионного метасоматоза.

Перенос минеральных веществ происходит главным образом в легкорастворимых соединениях комплексных ионно-молекулярных растворов, поскольку растворимость комплексных соединений металлов на несколько порядков выше, чем растворимость их в простой ионной форме.

Важное значение в рудообразовании имеют сульфидные, силикатные, карбонатные, хлоридные и фтористые комплексы, особенно когда они находятся в концентрированных растворах. Другие возможные формы переноса (газовый, в коллоидных растворах) менее эффективны. Первый из них мог происходить в виде газов хлоридов металлов или чистых металлов в летучем состоянии. В коллоидных растворах возможен перенос минеральных

веществ при низких температурах. В истинных растворах в значительных количествах могут переноситься лишь сурьма, ртуть и мышьяк.

При циркуляции гидротерм происходит реакция обмена между растворителем и растворенными веществами, с одной стороны, и встречными растворами и вмещающими породами - с другой. Изменения температуры и давления, скорости движения, концентрации и других характеристик могут вызвать осаждение вещества из раствора.

На изменение физико-химических условий чутко реагируют легкорастворимые комплексные соединения, сразу выпадающие в труднорастворимый осадок, выполняющий открытые трещины и полости. Этот процесс происходит пульсационно путем отложения по стенкам минеральных ассоциаций, о чем свидетельствуют широко развитые в рудах зонально-симметричные крустификационные и другие полосчатые текстуры. При этом происходит метасоматоз вмещающих боковых пород и ранее осажденных минеральных веществ.

#### *Роль пневматолитовых и метасоматических процессов в рудообразовании*

Пневматолитические процессы связывают с отложением минерального вещества из газовых надкритических ювенильных кислотных растворов и воздействием на горные породы летучих компонентов. Эти растворы характеризуются сложным составом. Кроме воды в надкритическом состоянии в них предполагают наличие газовых включений  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{HN}_3$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$  и  $\text{F}_2$ , а также газовых кислотных растворов  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{HBr}$ . В этих растворах могли сформироваться легкорастворимые комплексные галоидные соединения редких металлов, олова, вольфрама и других, обладающих высокой летучестью.

Газово-водные растворы воздействуют на боковые горные породы и вызывают в них химические реакции обмена и замещения одних компонентов другими, т.е. происходит явление *метасоматоза*. Эти растворы могут оказывать метасоматическое воздействие только при определенных концентрациях в них веществ. В других случаях происходит простое выщелачивание.

Метасоматические процессы оказывают большое влияние на постмагматическое рудообразование. Определяющими факторами метасоматоза служит состав и физико-механические свойства вмещающих пород, природа и состав воздействующих на них газово-водных растворов, а также температура и давление.

Различают два типа метасоматоза: *инфильтрационный*, когда постмагматические растворы, поднимаясь по системе трещин и пород, доставляют замещающие компоненты; *диффузионный*, при котором перенос минеральных веществ осуществляется путем диффузии компонентов в поровом растворе.

В случае проявления кальциево-магниевого и взаимосвязанного алюмосиликатного метасоматоза формируются скарновые месторождения, натровый метасоматоз может привести к образованию альбититовых месторождений, а калиевый метасоматоз - к возникновению грейзеновых месторождений. Метасоматические процессы широко проявлены также при образовании гидротермальных месторождений.

Альбититовые и грейзеновые месторождения формировались последовательно в сходных геолого-структурных условиях, пространственно и возможно генетически связаны с общими для них интрузивами нормальных или щелочных гранитов, реже нефелиновых сиенитов. В первых из них преобладают альбититы и альбитизированные изверженные породы, во вторых - грейзены и грейзенизированные породы различного состава.

*Альбититы* - это мелкозернистые породы существенно альбитового состава с порфиоровыми выделениями кварца, микроклина и пластинками слюды, образованные в процессе постмагматического натрового метасоматоза (альбитизации) изверженных пород. В них отмечается повышенное содержание ниобия, тантала, циркония, гафния, лития, рубидия, бериллия, редких земель, урана и тория. С увеличением степени альбитизации концентрации их возрастают и в альбититах на отдельных участках, связанных с зонами повышенной трещиноватости, могут достичь промышленных значений и образовать рудные тела с редкометалльной и редкоземельной минерализацией.

*Грейзены* - это рудопродуктивные на олово, вольфрам, молибден, висмут, бериллий и литий калиево-метасоматические образования, характеризующиеся преобладанием в своём составе кварца и мусковита.

Они сформировались при взаимодействии пневматолито-гидротермальных растворов с вмещающими породами. Грейзены, пространственно сопряженные с альбититами, образующимися раньше - при температуре 550-400°C, располагаются над ними. По Г. Щербе, температурные интервалы грейзенизации составляют для силикатных пород 450-300°C, а карбонатных пород - 400-250°C. Глубина образования грейзенов от 5 до 1 км.

По данным А.А. Беуса и В.И. Смирнова, выступы изверженных пород, подвергшиеся процессам щелочного метасоматоза, характеризуются зональностью его проявления. В ядерных частях выступов гранитов интенсивно проявлена микроклинизация, свидетельствующая о изначальности калиевого метасоматоза. В периферических зонах выступов возникли альбититы, продукты натрового метасоматоза, сменяющиеся в апикальной приконтактной части выступа и в зоне экзоконтакта грейзенами, снова образованиями калиевого метасоматоза. Это связано с возрастанием кислотности растворов при переходе их из надкритического состояния в гидротермальное в связи с падением температуры.

Альбититовые и грейзеновые месторождения, встречаясь отдельно и вместе, соответственно связаны либо с различными формациями изверженных пород, либо с общими для них интрузивами. Автономные альбититовые месторождения тяготеют к альбитит-нефелин-сиенитовому комплексу, а грейзеновые - к щелочно-земельным гранитам.

При совместном нахождении они приурочены в большинстве случаев к субщелочным и щелочным гранитам, связанным с нормальными гранитами переходными разностями. Это дает основание выделить два комплекса изверженных пород, продуктивных на альбитит-грейзеновое оруденение: альбитит-нефелин-сиенитовый и гранит-щелочно-гранитовый.

Альбитит-нефелин-сиенитовый комплекс объединяет многофазные интрузивы центрального типа щелочных и нефелиновых сиенитов, граносиенитов и кварцевых сиенитов, подвергшихся высокотемпературному щелочному метасоматозу, выразившемуся в интенсивном проявлении альбитизации этих комплексов.

Во вмещающих интрузивы породах кислого состава в результате выноса кремнеза и привноса калия и натрия в приконтактной части могли образоваться ореолы фенитизации. С этими интрузивными комплексами ассоциируют месторождения редкометалльных полевошпатовых метасоматитов, ниобий-циркониевых и урановых альбититов, рассматриваемых в качестве полевошпат-редкометалльно-метасоматитового рудного комплекса.

Редкометалльное оруденение обычно связано с поздними интрузивными фазами таких комплексов. Интрузивные массивы характеризуются небольшими размерами, не превышающими первые десятки квадратных километров. Они известны в Восточной Сибири, Казахстане, на Урале, а также в Нигерии.

Гранит-щелочно-гранитовый комплекс слагает выступы батолитоподобных гранитных интрузивов либо формирует малые интрузивы и жильные фации периода тектоно-магматической активизации платформ и областей завершённой складчатости. Он представлен гипабиссальными щелочноземельными биотитовыми и двуслюдяными гранитами и щелочными гранитами аляскитового типа, реже основными разностями гранитоидов - гранодиоритами, адамеллитами, кварцевыми диоритами. С этими комплексами пород ассоциируют грейзеновый комплекс оловянных, вольфрамовых, молибденовых, висмутовых и редкоземельных руд и альбититовое редкометалльное оруденение.

Альбитит-грейзеновые месторождения, связанные как с тем, так и другим магматическими комплексами, приурочены к системам трещин, развитым в апикально-

периферических зонах интрузивов. Поэтому для месторождений этих классов характерно штокверковое оруденение.

Рудные тела имеют пластообразную и сложную жильную формы. Для руд типичны текстуры метакристаллического, направленного и унаследованного замещения: вкрапленная, пятнистая, реликтовая, каемочная, решетчатая и др.

#### ***Альбититовые (апогранитовые) месторождения***

В классе альбититовых месторождений рассматриваются месторождения собственно альбититовых и полевошпатовых метасоматитов, образующих вместе полевошпат-редкометалльно-метасоматический рудный комплекс.

Собственно альбититовые месторождения связаны с интрузивами нефелиновых или щелочных сиенитов и щелочных гранитов, расположенных на активизированных щитах и в складчатых областях. Они представлены цирконий-ниобиевыми, ниобий-редкоземельными или ураноносными рудами. Месторождения залегают в структурах центрального типа, линейных зонах разлома, межформационных и межпластовых зонах нарушений. Форма рудных тел пласто-, линзо- и гнездообразная; текстура руд вкрапленная и прожилково-вкрапленная.

Большой интерес представляет цирконий-ниобиевое оруденение, локализующееся в массивах альбитизированных нефелиновых сиенитов миаскитового ряда. Примером может служить Вишневогорское месторождение (Южный Урал), расположенное в северной части одноименного массива миаскитов. Ниобиевое оруденение в виде рассеянной вкрапленности пирохлора заключено в альбититовых и кальцит-альбитовых зонах, а также в фенитизированных гранитах, пегматитах.

Известно месторождение бериллиеносных фенитов Сил-Лейк в Канаде, приуроченное к пластовым телам щелочных сиенитов. Оруденение локализовано в фенитизированных породах экзоконтакта. Поэтому месторождение относят к полевошпатовым метасоматитам.

Наиболее распространены месторождения редкометалльных полевошпатовых метасоматитов, залегающие в зонах региональных разломов, которые связаны с протерозойской или герцинской активизацией фундамента платформ и областей завершённой складчатости (Восточная Сибирь, Плато Джос в Нигерии). Реже такие месторождения встречаются в мезозойских складчатых структурах (Забайкалье, Северная Африка). Они представлены танталоносными (с оловом и вольфрамом) литиево-слюдистыми и ниобий танталоносными (с редкими землями) кварц-микроклин-альбитовыми метасоматитам. Благоприятными для оруденения являются пологие эндоконтактные части альбитизированных гранитных массивов, а также апикальные участки повышенной трещиноватости, подвергшиеся альбитизации и калишпатизации.

Рудные тела имеют штокообразную и пластообразную форму, тонкровкрапленную минерализацию колумбита, TR-Ta пирохлора (микролита), промышленных концентраций также достигают касситерит, вольфрамит, торит, циркон (малакон), монацит, ксенотим -  $YPO_4$ , фенакит -  $Be_2 SiO_4$  и др.

#### ***Грейзеновые месторождения***

*Грейзены* - преимущественно эндоконтактные образования, сформировавшиеся в апикальных выступах гипабиссальных интрузивов гранитов с повышенным содержанием калия. Экзоконтактные грейзены образовались в алюмосиликатных и реже основных и карбонатных породах их кровли. Рудопродуктивные грейзены избирательно связаны с периферическими частями интрузивов с плоской и пологой кровлей. Вертикальный размах оруденения составляет для эндо- грейзенов от 0,5 до 2 км, иногда достигая глубины пегматитообразования, и экзогрейзенов до 1,5 км.

Структуры эндогрейзеновых месторождений обусловлены трещинами оседания в гранитных массивах. Рудные тела имеют форму метасоматических штоков. Широко развиты рудоносные кварцевые жилы по продольным системам сближенных параллельных контракционных трещин, поперечных к простиранию складчатых структур и вытянутости массива, образующие в совокупности крупные месторождения олова и вольфрама.

С системами пересекающихся трещин связано штокверковое оруденение, характерное для экзогрейзенов. Жильные тела в экзогрейзенах формируются по трещинам отрыва и скола. Жилы обычно средних размеров, сложной формы, с раздувами и пережимами. Реже образуются и столбообразные тела на пересечении сколовых трещин. Рудные жилы имеют симметричное зональное строение. Во внутренней части жил преобладают вкрапленные и пятнистые текстуры руд, в зальбандах отмечаются слюдяные оторочки, в состав которых могут входить касситерит, вольфрамит, молибденит и берилл.

Процесс грейзенизации в алюмосиликатных породах, согласно Г. Щербе, начинался с грейзенизации гранитов, затем последовательно формировались мусковит-кварцевый, кварцевый, топаз-кварцевый, топазовый, мусковитовый и турмалин-кварцевый грейзены.

Грейзеновые месторождения часто сложены сопряженными между собой штокверковыми и жильными телами. Ближе к поверхности в экзоконтактовых породах массива штокверковое оруденение может смениться жильным существенно гидротермальным или, наоборот, с глубиной, в самом интрузиве, переходить в жилы метасоматического замещения.

По составу основных рудных компонентов выделяют оловоносные, вольфрамовые, молибденовые и вольфрам-молибден-олово-бериллиевые месторождения. Штокверковые месторождения имеют комплексный состав и важное практическое значение.

Среди них А.А. Фролов выделяет плащеобразные и короткостолбчатые штокверки. Первые из них представляют залежи жильно-прожилково-вкрапленных руд в грейзенах, залегающих согласно кровле гранитного купола (Югодзырь в МНР). Короткостолбчатые штокверки формируются в штоках грейзенизированных гранитов над куполами гранитов другой фазы. Оруденение сосредоточено главным образом в штокверковой сети прожилков (Альтенберг в Германии и др.).

Оловоносные грейзены связаны с выступами крупных гранитных интрузивов, контролируемых зонами разломов. Они образуют касситерит-кварцевые месторождения штокверкового типа Рудных Гор (Шнэда и Циновец в Чехии, Альтенберг и Садисдорф в Германии). Часто грейзены приурочены к апикальным частям гранитных куполов или дайкообразными апофизам (Кестер в Якутии).

Вольфрам-молибденовые грейзены развивались в период тектоно-магматической активизации в пространственной связи с гранитными массивами со сложным внутренним строением, имеющим в плане овальную удлиненную форму и различные размеры, от самых малых до сотен квадратных километров.

Грейзеновые месторождения могут быть существенно вольфрамовыми или собственно молибденовыми. Как те, так и другие наиболее распространены в Казахстане и Забайкалье. Известны такие месторождения в МНР, Португалии. Практически на всех месторождениях в надынтрузивной зоне развиты жильные тела, сменяющиеся на глубину штокверком. Большая часть жил отработана подземным способом. Штокверки рентабельно эксплуатировать карьерами большой производственной мощности. Глубина этих карьеров достигает 300-500 м и более. Руды этих месторождений комплексные. Помимо вольфрама и молибдена в значительных концентрациях присутствуют некоторые халькофильные редкие металлы.

С оловоносными и вольфрам-молибденовыми грейзеновыми оруденениями ассоциирует висмутовая и бериллиевая минерализация в промышленных концентрациях. В пространственной связи с докембрийскими аляскистыми гранитами известны небольшие месторождения редких земель.

### **Тема Контактново-метасоматические (скарновые) месторождения.**

Скарновые месторождения характеризуются широким развитием контактового метасоматоза, в результате которого образуются типичные для них минеральные ассоциации кальциевого, железо-магниевого и алюмосиликатного состава, отвечающего

понятию *скарн*. Поэтому такие месторождения также называют контактово-метасоматическими. Сами по себе скарны редко бывают рудопродуктивными.

Образование скарновых минералов протекает при температуре от 800 до 300°C в условиях гипабиссальной зоны на глубине 1-5 км. При температурах выше 500°C могли возникнуть скарнообразующие минералы и руды железа и частично вольфрама. Постмагматическое оруденение, связанное с горячими газовой-водными растворами, развивалось несколько позднее по скарнам, либо полностью вписываясь в их контур, либо выходя за его пределы.

Существуют две основные гипотезы образования скарновых месторождений: более ранняя П.П. Пилипенко и наиболее популярная и обоснованная - Д.С. Коржинского.

Согласно первой гипотезе, главная масса минеральных веществ привносилась скарнообразующими растворами, состав которых постепенно менялся, что обусловило зональность и минеральное разнообразие скарнов. Им выделено шесть фаз метасоматоза. Первые четыре фазы связаны с привносом кремния, алюминия, хлора и железа и образованием так называемых "сухих скарнов", состоящих соответственно привнесенным компонентам из диопсидовой породы, фанатов, скаполита и магнетита, а также железистых алюмосиликатов. В пятую и шестую рудопродуктивные фазы происходил привнос воды, углекислоты, хлора, серы и металлов.

В основу современных представлений о происхождении скарновых месторождений положена гипотеза Д.С. Коржинского об инфильтрационно-диффузионном метасоматозе. Согласно его гипотезе, скарны возникают при биметасоматических и контактово-инфильтрационных процессах. Эти процессы протекают чаще всего в приконтактной области гранитоидных интрузивов повышенной основности или щелочности с карбонатными породами.

*Биметасоматоз* - это диффузионное взаимодействие контактирующих пород. Оно направлено ортогонально к плоскости контакта. При этом происходит обмен малоподвижными компонентами: с одной стороны поступает  $\text{CaO}$ , а с другой -  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . В результате такого обмена образуются реакционно-скарновые зоны, состоящие из известково-силикатных минералов. Другие более подвижные компоненты образуют ряд убывающей подвижности -  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{Fe}$ . Чем ниже подвижность компонента, тем выше его концентрация в замещаемой породе.

Преобладающая масса скарнов развивалась биметасоматически. Однако для рудообразования более благоприятны контактово-инфильтрационные скарны, связанные с интенсивным воздействием постмагматических растворов в зонах повышенной трещиноватости.

Образование скарнов может происходить непосредственно в периферической части интрузива или в карбонатных породах. В первом случае соответствующие им месторождения называются *эндоскарновыми*, во втором - *экзоскарновыми*. Иногда ассоциации скарновых минералов образуют внутри интрузива *автоскарны* не связанные с карбонатными породами.

По составу замещенных пород скарны подразделяют на магнезиальные, известковые и силикатные.

**Магнезиальные скарны** возникают на глубинах 3-5 км при внедрении гранитоидов повышенной щелочности и связаны с замещением доломитов или доломитизированных известняков, а также образуются за счет основных магматических пород, богатых магнием. Они развиваются вдоль трещин и сложены минералами магнезиально-железистых алюмосиликатов и силикатов. С этими скарнами ассоциируют месторождения магнетитов, бора (людвигитовые), хризотил-асбеста, флогопита и комплексные золото-висмута-медные руды.

**Известковые скарны** имеют широкое распространение и высокую рудопродуктивность. Они образовались в результате замещения известняков на глубинах, не превышающих 3-3,5 км, что объясняется диссоциацией  $\text{CaCO}_3$  в растворах при

невысоких температуре и давлении. По этим скарнам последовательно развиваются магнетитовые, молибденовые, вольфрамовые, бороносные (датолитовые), сульфидные, медные и свинцово-цинковые руды, имеющие промышленное значение.

Второстепенную роль играют месторождения золота, олова, кобальта, бериллия, ниобия, редких земель и урана.

**С и л и к а т н ы е с к а р н ы** - это автометасоматические образования в изверженных породах, с характерной ассоциацией скарновых минералов. В их образовании большую роль сыграли процессы альбитизации и скаполитизации. Типичным примером служат шеелитовые с халькопиритом и молибденитом руды отработанного месторождения Чорух-Дайрон в Таджикистане.

*Морфология, внутреннее строение и минеральный состав рудных тел*

Морфология скарновых образований характеризуется исключительной сложностью. Прежде всего это относится к самим скарнам.

Магнезиальные скарны, развиваясь согласно системам трещин, получили полосчатое строение. В них сформировались рудопродуктивные жильные тела с извилистыми очертаниями и широко развитыми апофизами. Типоморфными минералами этих скарнов являются диопсид, форстерит, шпинель, флогопит, серпентин и хризотил-асбест, людвигит, магнетит и доломит.

Известковые скарны и связанные с ними оруденения имеют более сложную морфологию тел и разнообразный минеральный состав. Чаще встречаются линзы, ветвящиеся жильные тела, приуроченные к зонам повышенной трещиноватости; на пересечении и в местах сопряжения крутопадающих трещин образовались штокообразные и трубообразные залежи и даже иногда штокверки. По положению относительно интрузива известковые скарны могут залегать в экзоконтактовой тектонически напряженной надинтрузивной зоне или в зоне эндоконтакта интрузива, перекрывающего карбонатные породы. Наиболее благоприятными для локализации скарнового оруденения являются экзоконтактовые зоны пологих интрузивов, где могли сформироваться так называемые фронтальные залежи инфильтрационных скарнов с пластообразной, штокообразной и линзообразной формой.

Рудные тела и залежи характеризуются зональным строением. Изучая Турьинские медные месторождения на Урале, Д.С. Коржинский выделил внешнюю зону околоскарновых гранитоидов, затем эндоскарновую зону пироксена и граната, сменяющуюся гранатовым экзоскарном и далее переходящую в салитовый скарн и мраморизованный известняк. Такая зональность в общем виде или фрагментарно может быть на других рудных месторождениях. Например, подмечено, что шеелитовое оруденение чаще всего бывает приурочено к гранат-пироксеновым скарнам, молибденовая минерализация тяготеет к зоне эндоскарнов.

Распределение полезных компонентов в рудных залежах неравномерное, гнездовое, контакты нечеткие, контуры рудных тел устанавливаются по данным опробования. Среди главных скарнообразующих минералов выделяются группы пироксенов, гранатов и амфиболов, а также волластонит - $\text{CaSiO}_3$ , везувиан, эпидот и другие; из рудных - шеелит -  $\text{CaWO}_4$ , магнетит и сульфиды цветных металлов.

Морфология силикатных скарнов определяется планом развития в пределах рудного поля и месторождения трещинной тектоники. На месторождении Чорух-Дайрон крупные разломы в пермском гранодиоритовом интрузиве сформировали блоковую структуру и сыграли роль рудоподводящих каналов. Внутри блоков с этими разломами сопряжены довольно протяженные рудораспределяющие разрывные нарушения типа зон дробления с трещинами оперения. Вдоль внутриблоковых разрывов сформировались зоны альбитизированных и скаполитизированных пород. В эти зоны вписываются рудные тела, имеющие форму сложных жил, линз. Обогащенные участки приурочены к сопряжению трещин основного направления с оперяющие трещинами скола и отрыва. Иногда

оруденение в форме апофиз продолжается вдоль оперяющих трещин. На месторождении проявлена симметричная по отношению зон дробления горизонтальная метасоматическая зональность и вертикальная рудная зональность.

По минеральному составу силикатные скарны сопоставимы с известковыми, отличаясь от них еще большим разнообразием силикатных минералов и широким развитием скаполита.

Для всех типов руд скарновых месторождений характерными являются структуры замещения с реликтами первичной слабо измененной породы; из текстур преобладают массивная, пятнистая и вкрапленная. Также встречаются текстуры, типичные для руд гидротермального процесса, за исключением крустификационной.

В скарнах известны промышленные концентрации почти всех металлов, кроме хрома.

*Скарново-магнетитовые, медные, шеелит-молибденитовые и свинцово-цинковые месторождения*

Главнейшими скарновыми рудопродуктивными комплексами являются медно-магнетитовый, шеелит-молибденитовый и свинцово-цинковый.

Магнетитовый комплекс представлен тремя главными типами месторождений: 1) уникальными по размерам скаполит-альбитовыми (Качарское, Соколовское и Сарбайское в Тургайском прогибе); 2) крупными известково-скарновыми (Магнитогорское, Высокогорское, Гороблагодатское на Урале); 3) крупными и средними магнезиально-известково-скарновыми месторождениями Алтае-Саянской области (Шерегешевское, Тейское) и Южной Якутии (Таежное, Пионерское).

Тургайские и алтае-саянские месторождения приурочены к сочленению герцинид с каледонидами; уральские - стыку западной и восточной палеозойских областей, южно-якутские докембрийские - южному обрамлению Центрально-Алданского антиклинория.

Медный комплекс представлен средними и мелкими месторождениями Урала (Турьинская группа) и Казахстана (Саякская группа), Клифтон (США), Долорес (Мексика), в значительной степени отработанными. Эти месторождения локализованы в экзоконтактах гранитоидных интрузивов. Сульфидное медное оруденение развито по известковым гранат-пироксеновым скарнам на небольшом удалении от интрузивов, рудные тела имеют сложную форму. Например, на месторождении Саяк-1 выделяют линзовидные залежи мощностью около 10 м, залегающие согласно в скарнированных известняках, и крутопадающие зоны прожилково-вкрапленных руд в гранитоидах. Состав руд комплексный. Руды в основном халькопирит-магнетитовые или борнит-магнетитовые. Сопутствующими компонентами служат Co, Mo, Au, V, Se, Te.

Шеелит-молибденитовый комплекс встречается в полном виде довольно редко, его отдельные месторождения являются уникальными по размерам (Тырныауз на Северном Кавказе). Наиболее распространены молибденовые (Каратас-1, Южно-Янгиканское) и шеелитовые месторождения (Восток-2 в Приморье, Чорух-Дайрон, Санг-Донг в Южной Корее, Кинг-Айленд в Австралии).

Месторождения этого комплекса ассоциируют с гранитами, плагио-гранитами и кварцевыми диоритами, интродуцирующими породы карбонатного состава, залегающие внутри антиклинальных поднятий. Крупные трубообразные и другие сложные по форме рудные тела развиты в приконтактных зонах известковых скарнов и роговиков.

Свинцово-цинковый комплекс также имеет важное промышленное значение. По геолого-структурным условиям формирования месторождений он имеет большое сходство с предыдущим комплексом, существенно отличаясь более интенсивным проявлением метасоматоза по карбонатным породам и сложными морфологией и минеральным составом руд. К числу скарновых месторождений сфалерит-галенитовых руд относятся Николаевское (Приморье), Алтын-Топкан, Кансай (Средняя Азия), Лоуренс (США). Руды таких месторождений комплексные. Помимо свинца и цинка содержат сопутствующие компоненты - медь, серебро, индий, галлий и кадмий в количестве, достаточном для их извлечения.

Николаевское месторождение находится в одной из вулкано-тектонических депрессий Дальнегорского рудного района. Пологие пластообразные залежи свинцово-цинковых с серебром руд приурочены к контакту известняков с позднемеловыми вулканитами. Содержание в руде свинца и цинка 1,5-10 % каждого, серебра - 60 г/т.

## **Тема Гидротермальные месторождения. Приповерхностные вулканогенные гидротермальные месторождения**

### План лекции:

#### 1. Гидротермальные месторождения.

- 1) Геологические и физико-химические условия образования.
- 2) Источники воды и минерального вещества, формы переноса рудных компонентов.
- 3) Глубинные плутогенные месторождения
- 4) Процессы метасоматоза

#### 2. Приповерхностные вулканогенные гидротермальные месторождения

Геологические и физико-химические условия образования. Источники воды и минерального вещества, формы переноса рудных компонентов. Глубинные плутогенные месторождения. Метасоматоз (грейзенизация, скарнирование, ороговикование, турмалинизация, сульфидизация, хлоритизация, лиственитизация и др.). Формы рудных тел, минеральный состав, текстуры руд. Основные рудные формации с примерами месторождений. Промышленное значение.

Среди эндогенных рудопродуктивных образований гидротермальные месторождения характеризуются большим разнообразием видов полезных ископаемых, частой встречаемостью и совокупной промышленной значимостью. Эти месторождения являются источником добычи подавляющего большинства металлических полезных ископаемых, в особенности легирующих, цветных, благородных и халькофильных редких металлов, а также многих видов неметаллического сырья: флюорита, магнезита, барита, асбеста, пьезокварца, исландского шпата и др.

Гидротермальные месторождения образовались при циркуляции горячих минерализованных растворов в широком температурном интервале (от 500 до 50°C) и значительном вертикальном диапазоне, начиная с глубины свыше 5 км и кончая приповерхностными условиями. Это обусловило их сопряженность, с одной стороны, с глубинными пневматолитическими процессами и производными от них грейзеновыми месторождениями, а с другой - с близповерхностными эндо- и экзогенными процессами и связанными с ними вулканогенно-осадочными стратиформными месторождениями.

Гидротермальные месторождения, сопряженные с грейзенами, формировались в интервале глубин 2-5 км при температуре 300-500°C в связи с абиссальными гранитными интрузивами. Такие месторождения относятся к плутогенному гидротермальному подклассу.

Гидротермальные месторождения, образовавшиеся в гипабиссальной и приповерхностной зонах в широком диапазоне температур (350-50°C) и связанные с вулканизмом, принадлежат к субвулканическим (порфировым) или вулканогенным гидротермальным образованиям. Принадлежность к определенному подклассу определяется главным образом по фациям магматизма. Переходными между плутогенными и вулканогенными гидротермальными месторождениями являются субвулканические месторождения, приуроченные к гипабиссальным изверженным порфировым породам.

Гидротермальные месторождения подразделяются; 1) по температуре отложения руд из гидротермальных растворов - на высокотемпературные (500-300°C), среднетемпературные (300-200°C) и низкотемпературные (200-50°C); 2) по глубине формирования - глубинные (более 1 км) и малых глубин (менее 1 км); 3) по совокупности этих факторов - *гипотермальные* (больших глубин и температуры), *мезотермальные* ("средних глубин и температуры), *эпитермальные* (малых глубин и низкой температуры) и

*телетермальные* (без видимой связи с магматизмом). Кроме того, выделяют фуппу месторождений *ксенотермальных*, с разновозрастными ассоциациями высоко- и низкотемпературных минералов, и *телескопированных* - с наложенной рудной минерализацией другой температуры образования.

Определение температуры отложения минералов производится косвенными методами путем наблюдения за целым рядом геологических признаков: присутствие в руде самородных металлов, температура плавления которых фиксирует верхний предел температуры их образования; изменение минеральных форм кристаллов, происходящее при определенных температурах; распад твердых растворов; перекристаллизация минералов; температура эвтектики и т.д.

В последние десятилетия проводятся лабораторные определения температуры гидротермального минералообразования по газовой-жидким включениям, которые имеются практически в каждом кристалле как природном, так и искусственном. Эти включения представляют собой по форме вакуоли, заполненные жидкостью и газом - продуктами исходных растворов. Если кристалл, содержащий газовой-жидкие включения, подвергнуть постепенному нагреванию, то при определенной температуре произойдет их кажущееся исчезновение. Это связано с процессом перехода гетерогенной системы (жидкость + газ) в гомогенную фазу. Момент перехода фиксируется как температура образования данного кристалла с внесением поправок на предполагаемое давление в природных условиях. Так определяют температуру образования минералов методом *гомогенизации*.

Если продолжить нагревание кристалла, в котором уже совершился переход двухфазового включения в гомогенную фазу, то произойдет разрушение стенок пузырьковых камер из-за возросшего в них давления. Здесь можно фиксировать звуковой эффект (*метод декрепитации*) или изменение давления, связанное с раскрытием вакуолей (*термобарография*).

#### ***Процессы метасоматоза***

Гидротермальные растворы, взаимодействуя с вмещающими околорудными породами вызывают в них изменения, связанные с метасоматическими замещениями, протекающими с привносом и выносом минеральных веществ. Иногда влияние растворов ограничивается выщелачиванием, т.е. только выносом, или приводит к перекристаллизации боковых пород.

Метасоматическое воздействие надкритических газовой-жидких растворов на горные породы, вызывает *скарнообразование*, *альбитизацию* и *грейзенизацию* в масштабе рудных полей и месторождений. Локально эти процессы могут быть проявлены в окружающих породах плутоногенных месторождений, образование которых связано с высокотемпературами растворами. При средних температурах растворы щелочные и их воздействие на различные по составу вмещающие породы приводят к серицитизации и березитизации.

**С е р и ц и т и з а ц и я** - образование тонкочешуйчатой светлой слюды -серицита главным образом за счет разложения полевых шпатов в породах кислого и среднего состава. Она может проявляться также в регионально-метаморфизованных породах. Гидротермальная серицитизация сопровождается окварцеванием и пиритизацией. В ассоциации с нею известны оловорудные, вольфрамо-молибденовые, золото-серебрянные, медно-колчеданные и свинцово-цинковые месторождения.

**Б е р е з и т и з а ц и я**, являясь сходным по химизму с серицитизацией процессом, приводит к преобразованию алюмосиликатных изверженных пород типа гранит-порфиров в березиты, состоящие из кварца, серицита и пирита. Новообразования кварца и крупнокристаллического серицита, близкого к мусковиту, - результат разложения полевых шпатов под действием гидротермальных растворов. Развитие пиритизации связано с привносом серы и заимствованием железа из биотита и других железистых силикатов. С березитами ассоциируют золоторудные месторождения (Березовское, Урал), а также некоторые месторождения вольфрама, меди, свинца и цинка.

В приповерхностной зоне земной коры гидротермальные растворы вновь становятся кислыми и вызывают хлоритизацию, окварцевание, пропилитизацию, серпентинизацию, лиственитизацию, доломитизацию, аргиллизацию и другие средне-, низкотемпературные изменения окружающих пород. Они имеют локальный характер и отличаются от аналогичных изменений при региональном метаморфизме приуроченностью к тектоническим трещинам и приконтактовым рудным зонам, избирательностью пород по составу и наличием гидротермальных минеральных ассоциаций.

**Хлоритизация** - образование минералов группы хлорита путем замещения амфиболов, пироксенов, биотита в породах различного состава. Она проявляется обычно совместно с серицитизацией, окварцеванием и пропилитизацией во вмещающих породах золоторудных, сульфидно-касситеритовых и медно-полиметаллических месторождений.

**Окварцевание** - процесс преобразования различных по составу пород в существенно кварцитовые. Он может протекать как в эндогенных, так и экзогенных условиях метасоматически или путем выполнения трещин и пустот кварцем. Эндогенное окварцевание происходит в породах, вмещающих скарновое, грейзеновое и гидротермальное оруденение. В результате гидротермального окварцевания магматических пород кислого и среднего состава образуются *вторичные кварциты*, состоящие в основном из кварца, а также серицита, андалузита, диаспора, алунита, каолинита и пирита. В ассоциации со вторичными кварцитами известны месторождения медно-молибден-порфирировых руд, серы, алунита, андалузита и корунда.

**Пропилитизация** может быть гидротермальной и связанной с процессами зеленокаменного регионального метаморфизма. Гидротермальная пропилитизация происходит при взаимодействии растворов, обогащенных серой и углекислотой, с вулканогенными породами среднего и основного состава и характеризуется наличием адуляра и пирита. Она развивается в вулканических поясах вдоль разломов. С нею связано оруденение так называемого пропилитового профиля: Cu, Pb, Au, Ag, Hg, и As.

**Серпентинизация** развивается по магнезиально-железистым силикатным минералам в ультраосновных породах, образуя серпентиниты (змеевики). С ними связаны месторождения хризотил-асбеста.

**Лиственитизация** характерна для серпентинитов и других основных и ультраосновных пород, подверженных воздействию углекислых сероводородных растворов, в результате чего образуются листвениты. Они состоят из магнезиально-железистых карбонатов, талька, кварца, серицита, фуксита (хромовая слюдка), хлоритов и пирита. Листвениты формируют зоны, вытянутые вдоль глубинных разломов. К этим зонам пространственно приурочены золоторудные, ртутные и вольфрамово-мышьяково-ртутные месторождения.

**Доломитизация** как гидротермально-метасоматический процесс развивается обычно по известнякам, вмещающим месторождения свинцово-цинковых, сидеритовых, ртутных и магнезитовых руд.

**Аргиллизация** связана с воздействием низкотемпературных гидротермальных слабокислых растворов на алюмосиликатные породы и выражается их осветлением, вызванным возникновением каолинита и ему подобных минералов. Она сопровождает образование медно-порфирировых, свинцово-цинковых и сурьмяно-ртутных месторождений.

### ***Зональность гидротермального оруденения***

Зональность гидротермальных месторождений рассмотрена в работах Ф.И. Вольфсона, А.В. Королева, В.И. Смирнова и др.

В.И. Смирнов выделяет различные природные уровни зональности (рудных поясов, узлов и т. п.), структуру, направление и контрастность зональности, генетические типы зональности рудных тел (стадийная, фациальная, зональность повторных тектонических разрывов, тектонического раскрывания, внутрирудного метасоматоза, фильтрационную и

отложения), а также рассматривает зональность гидротермально измененных пород и вертикальный градиент зональности, имеющий важное практическое значение при прогнозировании оруденения на глубину.

При внедрении массивов магматических пород в близповерхностную зону высокотемпературные растворы попадают в условия низкого давления, что приводит к быстрому их охлаждению и одновременному отложению как высокотемпературных минералов, так и низкотемпературных, с образованием ксенотермального или телескопированного оруденения.

На поверхности Земли образуются эксгальционные месторождения, связанные с выходом в атмосферу гидротермальных растворов и вулканических газов. Промышленное значение этих месторождений невелико.

В вулканических областях известны небольшие эксгальционные месторождения серы, бора и некоторых других полезных ископаемых.

### ***Морфология рудных тел и вещественный состав руд***

Особенностью рудных тел гидротермальных месторождений является их жильная в различных вариациях форма и производная от нее штокверковая.

В общем виде типы структур и морфология рудных залежей гидротермальных месторождений приведены в таблице. Плутоногенным и субвулканическим месторождениям, связанным с гранитоидными и гранитоидно-порфировыми комплексами, свойственны секущие и согласные жилы, зоны прожилкования и брекчирования, а также штокверки. Эти тела развивались по системам трещин и складок в парагенетической связи с абиссальными и гипабиссальными интрузивами и дайками. Жильные тела характеризуются разнообразием форм, размеров, пространственного расположения, типов выклинивания и контактов с вмещающими породами и видов их гидротермальных изменений. Это обусловлено особенностями проявления до рудной и внутрирудной трещинной тектоники и составом вмещающих пород. Кроме того, важное влияние на морфологию тел оказывают пострудные тектонические дислокации.

В вулканогенных гидротермальных месторождениях, залегающих в толщах пород спилит-кератофировой формации, преобладают согласные пластовые залежи, реже секущие зоны. В вулканических сооружениях, сложенных породами андезит-дацит-липаритовой формации, кроме того, развиты рудные линзы, штоки, жилы, штокверковые зоны и рудные столбы. Рудные жилы могут быть самой различной протяженности, от первых метров до 2 км, и мощностью от десятых долей метра до первых десятков метров. Процесс наращивания жил по всем трем направлениям происходил длительно и прерывисто в результате периодических приоткрываний трещин и поступлений с гидротермальными растворами других по составу минеральных веществ. Этим обусловлено возникновение минеральной зональности жил.

Рудные жилы могли развиваться по одной или более системам трещин. При этом одна система рудоносных трещин является основной; другие системы могут формировать оперяющие трещины. В местах их сопряжения или пересечения нередко образуются обогащенные участки - рудные столбы. Жильные тела, в особенности рудные столбы, часто имеют склонение, которое отчетливо отражают проекции рудных жил на вертикальную плоскость.

Системы маломощных жил и прожилков, сближенных между собой, формируют штокверковое оруденение, характерное для месторождений меди (Кальмакыр в Узбекистане), молибдена (Клаймакс в США, Каджаран в Армении), вольфрама, олова, золота и урана (Мерисвейл в США).

Вещественный состав гидротермальных месторождений разнообразен. В них можно практически встретить почти все гипогенные минералы, а также изоморфно входящие в них рассеянные (халькофильные) элементы, не образующие собственных минералов.

Для плутоногенных гидротермальных месторождений типичными являются высоко- и среднетемпературные минеральные ассоциации. В кварцево-полиметалльный рудный

комплекс объединены минеральные типы, в которых основным жильным минералом является кварц, а рудными могут быть молибденит, вольфрамит или шеелит, касситерит, золото, висмут, халькопирит, энаргит, уранинит, гематит. Сульфидный рудный комплекс включает галенит-сфалеритовую, касситерит-галенит-сфалеритовую золото-антимонитовую, сульфидно-настурановую, арсениды кобальта и никеля и другие ассоциации. Сквозной минерал в этих ассоциациях - халькопирит.

В субвулканических месторождениях выделяют антимонит-киноварный минеральный тип, золото-серебряный, касситерит-силикатно-сульфидный, медно-порфиновый и другие рудные комплексы. Для них характерны минералы неметаллических полезных ископаемых -реальгар, аурипигмент, флюорит, алунит, сера, исландский шпат.

Разнообразны по вещественному составу руды вулканогенных гидротермальных месторождений с типичной средне и низкотемпературной ассоциацией минералов. С цеолит-ртутно-медной формацией связаны месторождения самородной меди, ртути и цеолитов.

**Плутоногенные гидротермальные месторождения** размещаются в областях внутриплитной активизации. Они приурочены к пологим склонам и осложняющим их куполам в апикальных выступах гранит-гранодиоритовых массивов, залегая непосредственно в тектонически ослабленных зонах как в породах экзоконтакта, так и внутри этих массивов. Плутоногенные гидротермальные месторождения могут находиться в пространственной близости с грейзеновыми месторождениями, образуя общие с ними рудные поля, отличаясь при этом от грейзенового-штокверкового оруденения жильной формой тел и интенсивным окварцеванием.

**Субвулканические (порфиновые) гидротермальные месторождения** сформировались на активных окраинах континентов андийского и кордельеского типов в парагенетической связи с гипабиссальными гранитоидными порфировыми и гранит-лампрофировыми комплексами, а также на энсиматических островных дугах в ассоциации с дайками липоритов и порфировых магматитов.

Такие комплексы пород формируют вулcano-тектонические структуры в коллизионных зонах в доль разломов мантийного заложения, связанных с сеисмофакальными зонам Беньофа. Для этих структур характерно проявления различных форм зонального калиевого метасоматоза, что обусловлено повышенным содержанием в вулканитах щелочей и увеличением с глубиной в порфировых интрузивах  $K_2O/SiO_2$ .

Типоморфной особенностью субвулканических месторождений являются прожилково-вкрапленные текстуры руд и порфировые структуры вмещающих их пород. Это отчетливо проявлено на штокверковых месторождениях медно-порфировых и медно-молибден-порфировых руд.

Близкие по генезису гидротермальные плутоногенные и субвулканические месторождения представлены двумя главнейшими рудными комплексами: кварцево-полиметалльным и сульфидным.

**К в а р ц е в о - п о л и м е т а л л ь н ы й р у д н ы й** комплекс объединяет многочисленные жильные и штокверковые месторождения -вольфрама, олова, молибдена, меди, золота, висмута и урана. Наиболее распространены из них вольфрамовые месторождения с вольфрамитовыми и шеелитовыми рудами. Такие кварц-шеелитовые штокверковые месторождения известны в КНР (Яогансянь в провинции Хунань, Казахстане (Верхнее Кайракты, Богуты), на Северном Кавказе (Ктитеберда). Они характеризуются невысоким содержанием вольфрама. Размещение рудной минерализации контролируется системами сопряженных крутопадающих тектонических разрывов типа сколовых трещин. С глубиной штокверки переходят в прожилково-жильные зоны.

Месторождение Яогансянь согласно обзору А.А. Ковалёва (1999), представлено жильно-штокверковым оруденением различных остмагматических типов - W, W-Mo, Pb-Zn, Sb-Hg. Важнейшими из них являются кварцево-жильные и скарноидные руды.

Оловянные месторождения представлены штокверково- жильными касситерит- кварцевыми месторождениями Учкошхон (Киргизия), Ононским (Забайкалье), Пыркакайским рудным узлом (Чукотка). На всех уровнях, начиная от отдельных штокверков в пределах рудных полей и узлов и кончая системами прожилков и изолированными рудными жилами, отмечается рудный контроль крутопадающими разрывными нарушениями различных порядков. Суммарная мощность прожилков составляет в среднем 4-5 см на 1 м. Площадь штокверков в плане от 50 x 200 до 900 x 400 м<sup>2</sup>. Жилы достигают в длину 350 м, при мощности до 1,5 м.

Молибденовые, медные и медно-молибденовые месторождения имеют важное практическое значение. Это в основном штокверковые месторождения: медно-порфиновые - Эль-Тениенте (Чили), Бингем, Моренси (США), Мак-Лиз-Лейк, Вэлли-Коппер (Канада); Коунрад, Бошекуль (Казахстан); молибден-медно-порфиновые - Чукикамата (Чили). Штокверковые молибденовые месторождения прожилково-вкрапленных руд находятся в Закавказье (Каджаран), Забайкалье (Жирекенское и Бугдаинское), Кузнецком Алатау (Сорское), США (Кляймакс и Гендерсон). Известны также жильные месторождения меди и среди них уникальное Бьютт (США), молибдена (Шахтаминское в Забайкалье). Примером золото-кварцевых образований служат Мурунтауский штокверк, расположенный в палеозойской складчатой зоне Тянь-Шаня, седловидные жилы месторождений Бендиго в Австралии.

Кварц-висмутовые месторождения находятся в Средней Азии (Устарасай), Чехословакии (Яхимов), США (Монте-Кристо). Рудные тела представлены небольшими жилами и линзами.

**Сульфидный** комплекс представлен плутогенными гидротермальными месторождениями свинца и цинка, олова, вольфрама, золота, урана, кобальта и др.

Месторождения свинца и цинка известны на Кавказе (Садон, Згид), в Забайкалье (Екатерино-Благодатское), Германия (Фрайберг). Рудные тела могут иметь пластовую, штоко-, жило-, трубо- и линзообразную формы.

К месторождениям олова сульфидной формации относятся Депутатское и Эге-Хая (Якутия), Маунт-Плезант (Канада). Рудные тела в форме жил и жильных зон имеют крутое падение, значительные размеры по всем трем измерениям.

Месторождения золото-сульфидного типа могут быть золото-мышьяковыми (Кочкарское, Урал), золото-полиметаллическими (Березовское, Средний Урал; Колар, Индия), золото-антимонитовыми (Якутия). На Кочкарском месторождении многочисленные жилы развиваются по дорудным дайкам, на Березовском месторождении формируют лестничные жилы, секущие дайки, на месторождении Колар кулисообразно расположены линзы, жилы и прожилки образуют протяженные (до 8 км) рудные залежи при средней их мощности 1,5 м. Глубина отработки этого месторождения свыше 3,5 км.

Плутоногенные гидротермальные месторождения урана представлены двумя типами: уранинит-сульфидными (Мэрисвейл, США; Лимузен, Франция) и уранинит-арсенидным (Порт-Радий, Канада). Рудные тела имеют форму линз, жил, иногда столбов. К сульфидному комплексу относятся месторождения так называемого пятиэлементного рудного комплекса - полного (Co, Ni, Bi, Ag, U) или неполного. Это месторождения: Рудные горы (Чехия), Кобальт (Канада), Буазер (Марокко).

По геологическому положению близки к вулканогенным гидротермальным образованиям магнагнетитовые месторождения, связанные с *трапповой* формацией Сибирской платформы.

#### **Приповерхностные вулканогенные гидротермальные месторождения.**

Метасоматоз (пропилитизация, алунификация, кремниение, каолинизация, аргиллизация и др.). Формы рудных тел, минеральный состав, текстуры руд. Основные рудные формации с примерами месторождений. Промышленное значение.

### ***Вулканогенные гидротермальные месторождения***

С вулканогенными структурно-формационными комплексами связаны рудные формации: цеолит-ртутно-медная и колчеданная, ртутная, халькопирит-висмутовая, касситерит-силикатно-сульфидная, золото-кварцевая и золото-серебряная.

**Ц е о л и т - р т у т н о - м е д н а я** формация объединяет месторождения самородной меди (Озеро Верхнее, США), ртути (Яёлваам, Корякское нагорье), цеолитов (Закарпатье, Камчатка) в связи с пластовыми миндалекаменными базальтоидами.

**К о л ч е д а н н а я** формация представлена месторождениями меди (Гайское, Урал; Рио-Тинто, Испания), свинца и цинка (Озерное, Тува; Шаканаи, Япония). В рудах в различных количествах, иногда достигающих самостоятельного промышленного значения, присутствуют золото и серебро.

**Р т у т н ы й** комплекс охватывает субвулканические месторождения ртути опалитового типа (Чемпуринское, Камчатка, и Монте-Амиата, Италия) и вольфрамово-ртутные листовитового типа (Тамватнейское, Корякское нагорье).

**Х а л ь к о п и р и т - в и с м у т о в ы й** комплекс имеет ограниченное распространение. Значительные месторождения Адрасман (Средняя Азия) и Таена (Боливия) приурочены к жерловым фациям и дайкам. Жилы, линзы и трубообразные тела помимо висмутина и халькопирита содержат также сфалерит и галенит.

**К а с с и т е р и т - с и л и к а т н о - с у л ь ф и д н ы й** комплекс широко проявлен в субвулканических, жерловых и экструзивных фациях кислых магматитов месторождениями альпийской эпохи. Среди них уникальные -Льяльягуа, Потоси (Боливия).

**З о л о т о - к в а р ц е в ы й** и **з о л о т о - с е р е б р я н ы й** комплексы распространены в древних офиолитовых и мезокайнозойских вулканических поясах в пространственной связи с поперечными разломами. Примерами золото-кварцевого комплекса служат месторождения Многовершинное в Приморском вулканическом поясе и Крипл-Крик (США). Золото-серебряный комплекс представлен месторождениями Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (Хаканджинское, Карамкен). В архейском офиолитовом поясе на юге Канады находится месторождение Поркьюпайн.

Кроме перечисленных известны также рудные формации месторождений флюорита с бериллием (Томас в США) или молибденом и ураном, алунита (Заглик в Армении), исландского шпата (Нижнетунгусское), серы (Курильские о-ва и Камчатка).

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Что такое ликвация и кристаллизационная дифференциация магматического расплава?
2. Какие особенности условий залегания, морфологии и вещественного состава рудных тел ликвационных и кристаллизационных месторождений?
3. Чем отличаются пегматиты от вмещающих их материнских пород?
4. Как изменяется с глубиной форма и состав пегматитовых тел?
5. Какие по минеральному составу пегматиты являются производными остаточных расплавов гранитной магмы?
6. Какова роль процессов перекристаллизации и метасоматического замещения при формировании слюдяных пегматитов?
7. С какими интрузивными массивами связаны карбонатиты?
8. Как проявлена зональность оруденения в карбонатитах?
9. Объясните понятие "скарн". Чем отличаются известковые скарны от магнезиальных? Что такое автоскарны?
10. Что такое "альбититы" и "грейзены"?
11. Чем отличаются альбититовые месторождения от грейзеновых?
12. Охарактеризуйте штокверковые грейзеновые месторождения?
13. По каким факторам подразделяют гидротермальные месторождения?
14. Какими методами определяют температуру минералообразования?

15. Какие возможны процессы гидротермального метасоматоза?
16. В чем отличие плутоногенных, субвулканических и вулканогенных гидротермальных месторождений?

### **Тема Экзогенная серия — 4 ч.**

#### План лекции:

1. Строение зоны окисления сульфидных месторождений.
2. Месторождения кор выветривания.
3. Инфильтрационные месторождения.
4. Россыпные месторождения.

#### **Месторождения выветривания**

Группа месторождений выветривания, включающая остаточные и инфильтрационные рудообразования, сформировалась в результате экзогенных процессов. В отличие от стратиформных месторождений, являющихся производными как экзогенных, так и эндогенных процессов, эта группа генетически и обычно пространственно связана с *корой выветривания*. Последняя представляет собой комплекс преобразованных в континентальных условиях магматических, метаморфических и осадочных пород под влиянием различных факторов выветривания.

Выветривание горных пород и руд сопровождается выносом продуктов физического разрушения в виде обломков и взвесей, а продуктов химического разложения в форме растворенных соединений. В процессе переноса этих образований происходит их механическая и химическая дифференциация и формирование месторождений механических осадков, в том числе россыпных, и месторождений химических осадков. В продуктах выветривания, оставшихся на месте, в результате выноса части породообразующих минеральных веществ может произойти значительное увеличение концентраций никеля, кобальта, алюминия, железа вплоть до возникновения остаточных месторождений этих металлов.

При выщелачивании приповерхностными водами некоторых металлических соединений, последующем их переносе и отложении на геохимических барьерах происходит образование инфильтрационных месторождений железа, марганца, урана и ванадия.

На формирование экзогенных месторождений большое влияние оказывают климатические факторы, по совокупности которых выделяют три основные зоны: гумидного (жаркого влажного), аридного (засушливого) и ледового климата. Зона гумидного климата, где наиболее активно протекают процессы химического и биохимического выветривания, благоприятна для формирования месторождений коры выветривания - никеля, кобальта, бокситов и каолина.

#### *Профиль и морфологические типы коры выветривания*

Профиль, или разрез, коры выветривания характеризуется последовательной сменой по вертикали зон разложения пород различных по минеральному и химическому составу. В верхних зонах происходит интенсивное окисление, выщелачивание и гидролиз минеральных компонентов, а в нижних зонах - гидратация силикатов и начальное выщелачивание пород физического выветривания.

В зависимости от состава исходных пород, а также геотектоники, климатических и ландшафтных условий этим зонам соответствуют три основных профиля коры выветривания: 1) гидрослюдистый, 2) глинистый, 3) латеритный.

Гидрослюдистый профиль мог сформироваться при гидролизе силикатных минералов, протекавшем без выноса кремнезема. Поэтому его называют также насыщенным силикатным профилем. При этом происходило образование гидрослюды, монтмориллонита, гидрохлоритов. Такой профиль коры мало рудопродуктивен. Глинистый, или ненасыщенный силикатный, профиль характеризуется развитием каолинита, галлуазита и

нонтронита. Их образование происходило путем разложения алюмосиликатов с частичным выщелачиванием кремнезема и солей металлов. С этим профилем коры связаны месторождения каолинов и глин.

Латеритный профиль, завершающий этап развития коры выветривания, самый рудопродуктивный. С ним ассоциируют уникальные площадные залежи бокситов, месторождения никеля, железа и др. Основные морфологические типы коры выветривания: площадной, линейный и контактово-карстовый. Коры выветривания площадного типа развиваются на равнинных ландшафтах. Они подразделяются на открытые, выходящие на поверхность, и закрытые, залегающие под покровом более устойчивых к процессам выветривания пород. Коры линейного типа приурочены к разломам и зонам повышенной трещиноватости в породах, подвергшихся выветриванию. Контактново-карстовый тип имеет ограниченное распространение и образуется на контакте карбонатных и изверженных пород.

#### ***Остаточные месторождения***

Остаточные месторождения формируются в условиях гумидного климата и нерасчлененного рельефа, когда в результате интенсивного химического выветривания активно выносились легкорастворимые породообразующие компоненты, а слабые эрозионные процессы способствовали накоплению остаточных продуктов выветривания. При этом остаточная концентрация рудных компонентов по сравнению с фоновой может увеличиться в несколько раз за счет обогащения, связанного с выносом части минеральной массы, а также за счет обогащения продуктами рудной инфильтрации.

Формирование коры выветривания в тропических зонах протекает в десятки раз быстрее, чем в зонах с умеренно влажным климатом. И все-таки процесс этот длительный, иногда охватывал целые геологические эпохи.

Остаточная концентрация рудных компонентов связана с составом исходных пород. Накопление латеральных залежей бокситов в коре выветривания происходило на щелочных и нефелиновых сиенитах (месторождение Арканзас в США); андезитовых порфиритах и туфах (Тургайский прогиб - Казахстан); силикатно-никелевые руды сформировались в коре выветривания перидотитов, дунитов и серпентинитов (Уфалейское, Южный Урал; о. Куба); там же известны месторождения легированных бурых железняков; каолины и глины возникли на гранитах, пегматитах и метаморфических породах (Глуховецкое, Украина). В коре выветривания железистых кварцитов образовались богатые мармитовые руды (КМА).

Благоприятным для формирования таких месторождений являлся так называемый столовый рельеф, слегка возвышенный со слабым наклоном. Процессу выветривания способствует также разнородный состав выветриваемых пород, в особенности присутствие карстовых известняков, наличие разрывных нарушений и зон повышенной трещиноватости.

Древняя кора выветривания сохранилась там, где она перекрыта более поздними отложениями. Современная кора, как и древняя, развивается в условиях пепенизации поверхности, когда выветривание протекает интенсивнее, чем процессы сноса материала разрушенных пород.

Основные рудные формации остаточных месторождений - бокситовая, силикатно-никелевая и каолиновая.

**Бокситовая формация** сформировалась в результате выветривания интрузивных пород кислого, основного и щелочного составов, а также кристаллических сланцев, гнейсов, при активном выносе кремнезема и щелочей и накоплении свободных оксидов алюминия, железа и титана.

Этот процесс происходил в условиях столового рельефа и в тропических зонах с муссонным климатом. Месторождения этой формации подразделяются на остаточные латеритные и остаточные переотложенные. К первым из них относятся погребенные месторождения бокситов в древних корах выветривания (Висловское в районе КМА) и кайнозойские (Боке в Гвинее).

На месторождении Боке более 100 бокситовых залежей мощностью 10-15 м расположены на площади свыше 3500 км<sup>2</sup>, представляющей собой слабо расчлененную

пенепленизированную равнину. Латеритная кора развивалась на силурийских сланцах. Основными минералами залежей являются гиббсит, диаспор, бёмит, каолинит, ильменит, рутил. Содержание глинозема высокое - от 50 до 62 %. Текстуры бокситов - брекчиевая, конгломератовая и пористая. Запасы бокситов, доступные для открытой добычи, составляют около 3 млрд. т.

Силикатно-никелевая формация сформировалась в коре выветривания ультраосновных пород, главным образом серпентинитов - продуктов их гидротермально-автометасоматического изменения. Согласно морфогенетической группировке, выделяют три типа месторождений этой формации: площадной, линейный и линейно-площадной.

Силикатно-никелевые месторождения известны на Урале, в Казахстане, на Украине, в Новой Каледонии, Австралии, на Кубе.

Уральские силикатно-никелевые месторождения залегают в коре выветривания серпентинитов, развитых по герцинским ультраосновным интрузивам, контролируемым глубинными разломами общеуральского направления, что определило поясовое размещение этих месторождений. Их образование связано с выщелачиванием и нонтронизацией серпентинитов в условиях континентального пенеплена доюрского времени. Последующие процессы эрозии, вызванные поднятием, привели к полному размыву коры верхних горизонтов. Она хорошо сохранилась в Зауральских депрессиях, где ее мощность колеблется от 20 до 70 м. Разрез нонтронитовой коры выветривания серпентинитов неоднороден.

Месторождения коры выветривания площадного типа сформировались на приподнятых плато, преимущественно в зоне аэрации, воды которой обогащены кислородом. В ее профиле выделяются зоны (сверху вниз): железистых охр и кремнистых образований, нонтронитизации, выщелоченных серпентинитов.

Форма рудных залежей пластообразная, линзовидная. Залежи имеют крупные размеры, мощность рудных тел от 3 до 50 м. Преобладающий технологический сорт руды - железисто-магнезиальный. Месторождения:

Кемпирсайское и Серовское на Урале; Кубы, Филиппин, Австралии.

*Месторождения линейного типа* сформировались в районах с горным рельефом. Зона железистых и кремнистых образований с малоподвижными элементами смещена ниже уровня грунтовых вод в среднюю часть разреза, а более подвижные элементы накапливались в его краевых частях. Это свидетельствует о наличии горизонтальной зональности. Среди месторождений этого типа выделяют линейно-трещинные и контактово-карстовые.

Первые из них характеризуются клино- и линзообразной, реже пластообразной формой рудных тел, меньшей мощностью (от 3 до 10 м), вторые отличаются пласто- и гнездообразной формой рудных тел, большими изменениями мощности (от 3 до 30 м) и сложным составом руд железисто-магнезиального и кремнисто-магнезиального технологических сортов. Примерами месторождений служат Уфалейское, Локрида (Греция).

*Месторождения линейно-площадного типа* подразделяются на трещинно-площадные (новокаледонские) и карстово-площадные (Ларимна в Греции). Они сформировались в условиях холмисто-увалистой и низкогорной местности, залегая как в зоне аэрации, так и ниже уровня грунтовых вод. Для них характерно сочетание вертикальной и горизонтальной зональности, линейной и площадной коры выветривания с полным или сокращенным профилем. По другим параметрам они аналогичны месторождениям линейного типа.

**Каолиновая формация** образуется в условиях тропического климата при более расчлененном, в отличие от латеритных бокситов, рельефе, когда интенсивно происходят вынос щелочей и железа и одновременное накопление кремнезема и глинозема. К этой формации относятся месторождения каолинов и каолиновых глин, возникших при воздействии теплых грунтовых вод, насыщенных углекислотой и органическими кислотами,

на маложелезистые полевошпатовые породы. Месторождения высококачественных каолинов известны на Украине, Алтае, в КНР, Чехии, Германии и других странах.

Кроме охарактеризованных формаций известны также остаточные месторождения магнезита, талька, марганца, апатита, барита, золота, свинца, олова, тантала, ниобия и редких земель.

### **Тема Инфильтрационные месторождения.**

#### План лекции:

1. Геологические и физико-химические условия образования. «Стратиформность» объектов, вещественный состав, формы рудных тел, текстуры руд.
2. Основные рудные формации с примерами месторождений.
3. Промышленное значение.

Инфильтрационные месторождения образуются в процессе выщелачивания метеорными водами рудных компонентов, последующего переноса их за пределы области выщелачивания и отложения на геохимических барьерах. *Геохимические барьеры* - участки на пути миграции вод с благоприятными для рудоотложения физико-химическими условиями.

На выщелачивание и перевод в раствор рудных компонентов оказывают влияние их форма нахождения в исходных породах, состав, структурные и текстурные особенности, трещиноватость, пористость этих пород, а также степень насыщения атмосферных вод свободным кислородом и солями. При этом важную роль играют окислительно-восстановительные свойства (Eh) и кислотность - щелочность (pH) этих вод.

Перенос полезных компонентов осуществляется в виде комплексных соединений: карбонатных, сульфатных, металлоорганических и др.

При определенных значениях Eh и pH, наличии сорбентов, роль которых могут выполнять глинистые и гумидные частицы, происходит распад комплексных соединений и отложение рудных компонентов.

Инфильтрационные месторождения встречаются довольно часто. В них концентрируются уран, ванадий, медь, железо, марганец, сера. Месторождения, кроме урановых, характеризуются незначительными запасами. Поэтому заслуживают рассмотрения наиболее важные в практическом отношении месторождения ураноносной формации.

Ураноносная рудная формация объединяет многочисленные инфильтрационные месторождения урана, сформировавшиеся в результате фильтрации вод аэрации и фунтовых, а также напорных вод артезианских бассейнов в переслаивающихся песчано-глинистых толщах пород, в основном мезозоя и кайнозоя.

Месторождения вод аэрации и фунтовых образовались при смене окислительной обстановки на восстановительную, характерную для угленосных и битуминозных толщ пород. Месторождения урана, связанные с угленосными породами, залегают в депрессиях. Рудные тела имеют пластовую, часто извилистую форму, согласную с рельефом фундамента; часто они значительных размеров, в продуктах окисления нефти, в асфальтитах, пропитывающих толщи терригенных и карбонатных пород, имеют сложную удлиненную форму. Длина тел, достигает 1 км, при мощности до 30 м (Амброзия-Лейк, США).

Месторождения урана сформировались в результате пластовой фильтрации напорных вод артезианских бассейнов, вызывающих окисление до глубины 600 м. Различные скорости фильтрации пластовых вод обусловили возникновение полосовых рудных тел извилистой формы, названных *роллами*. Роллы имеют большую мощность и протяженность на десятки километров.

Уран переносится в легкорастворимых шести валентных соединениях, источником его служат породы фундамента. Уран образует минералы урановой смолки (настуран) и черни, карнотит, тюямунит, а также уранорганические соединения. Среднее содержание  $U_3O_8$  обычно составляет  $n \cdot 10^{-2}$  %, реже 0,1-0,2, иногда 0,5 %. Попутными полезными компонентами в рудах могут быть ванадий, молибден, германий и редкие земли.

К инфильтрационным относятся также плиоцен-четвертичные ураноносные месторождения в калькретах. *Калькреты* - это вторичные кавернозные скопления доломита и монтмориллонита, возникшие в засушливых районах в результате испарения восходящих грунтовых вод у поверхности земли. В австралийских калькретах известны залежи ванадиево-урановых (карнотитовых) руд. Рудоносные калькреты достигают распространения на площади  $\pi \cdot 10^5$  км<sup>2</sup>, при мощности около 10 м и среднем содержании U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 0,15 %.

#### ***Зоны окисления и вторичного обогащения сульфидных месторождений***

Близповерхностные изменения тел полезных ископаемых, вызванные физико-химическими процессами выветривания, имеют вертикальную зональность, обусловленную зональностью приповерхностных вод. Область циркуляции этих вод подразделяется на три зоны: 1) аэрации, или просачивания, 2) водообмена, 3) застойных вод.

В зоне аэрации происходит окисление минеральных веществ, слагающих тела полезных ископаемых. Ей соответствует *зона окисления*, которая может быть на месторождениях самых различных генетических классов. Степень развития зоны окисления зависит от климата, геоморфологии и тектоники, состава руд и вмещающих пород, их текстурно-структурного облика. Наиболее интенсивно она проявлена в сульфидных месторождениях, где под действием свободного кислорода, растворенного в воде, и углекислоты происходит разложение сульфидов и других сернистых соединений с образованием серной кислоты и сульфатов, с частичным или полным выщелачиванием рудных компонентов.

Окисление наиболее распространенных сульфидов происходит по схеме:

для халькопирита -  $\text{CuFeS}_2 + 4\text{O}_2 = \text{CuSO}_4 + \text{FeSO}_4$ ;

для галенита -  $\text{PbS} + 2\text{O}_2 = \text{PbSO}_4$  (англезит);

для сфалерита -  $\text{ZnS} + 2\text{O}_2 = \text{ZnSO}_4$

В условиях карбонатной среды сульфат меди переходит в малахит и азурит  $2\text{CuSO}_4 + 2\text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3 + 2\text{CaSO}_4 + \text{CO}_2$ ; англезит замещается церусситом  $\text{PbSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{PbCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$ ; а сульфат цинка приводит к образованию смитсонита  $\text{ZnSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{ZnCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$ .

Различные миграционные свойства рудных компонентов обуславливают неодинаковые изменения их концентрации, приводящие либо к новообразованиям промышленных руд, либо к их обеднению. В случае возникновения в процессе химического выветривания труднорастворимых комплексов, концентрации рудных компонентов существенно не изменяются, а происходит лишь изменение фазового состава руд, оказывающего сильное влияние на технологию их переработки.

В зоне окисления сульфидных месторождений выделяют поверхностный слой, подзоны оксидных, выщелоченных и богатых оксидных руд, нередко образующих так называемые *железные шляпы*. Например, медно-колчеданные месторождения могут быть покрыты железной шляпой, иногда с промышленным содержанием золота и серебра. Общая мощность оксидной зоны изменяется от первых до десятков метров, иногда достигая сотни метров. Глубина распространения зоны окисления и зависимость ее от форм рельефа и неотектоники отчетливо выражены, например, в бортах карьера медно-порфириновых месторождений Каджаран, Агарак, Коунрад, Алмалык.

*Зона вторичного обогащения*, называемая также *зоной цементации*, формируется ниже зоны окисления в восстановительных условиях при переотложении выщелоченных из нее металлов. Она соответствует зоне водообмена (истечения). Возникающие при этом путем замещения вторичные сульфиды и другие новообразования как бы цементируют первичные минералы. Восстановительные условия определяются дефицитом свободного кислорода, наличием гуминовых кислот и других органических соединений, а также первичных сульфидов.

Верхняя граница зоны вторичного обогащения связана с уровнем грунтовых вод. Его временные колебания приводят к перераспределению рудных веществ между зонами

окисления и вторичного обогащения, усложняя общую картину зональности в зоне перехода. Еще сложнее нижняя граница зоны вторичного обогащения с зоной первичных руд. В ней за счет халькопирита возникают халькозин и ковеллин:  $5\text{CuFeS}_2 + 11\text{CuSO}_4 + 8\text{H}_2\text{O} = 8\text{Cu}_2\text{S} + 5\text{FeSO}_4 + 8\text{H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{CuFeS}_2 + \text{CuSO}_4 = 2\text{CuS} + \text{FeSO}_4$ .

Текстуры оксидных руд могут быть унаследованы от первичных и вновь приобретенными в процессе выветривания и окисления этих руд. Нередко они встречаются совместно. К новообразованным относятся остаточные текстуры (землистые и брекчиевые) и переотложенные (корковые, полосчатые, натечные, порошковые).

Помимо химических преобразований в приповерхностных частях, у выходов рудных тел, происходит механическое изменение тел полезных ископаемых. При этом может произойти изменение пространственного положения и мощности рудных тел, образование отрицательных или положительных форм рельефа.

Зона вторичного обогащения образовалась на некоторых месторождениях меди, урана, золота и серебра и отдельных участках медно-никелевых месторождений. Она наиболее характерна для медных месторождений различных типов.

### **Россыпные месторождения**

Россыпные месторождения представляют собой практически значимые скопления ценных минералов в обломочных породах, производных механических осадков. Такие месторождения могут быть генетически связаны с геологическими либо рудными формациями и комплексами, служившими источниками полезных компонентов. В россыпях в основном накапливаются минералы тяжелой фракции, химически устойчивые в оксидных условиях и обладающие достаточной механической прочностью, препятствующей их чрезмерному истиранию или измельчению.

Наиболее важное промышленное значение имеют россыпные месторождения золота, платины, касситерита, колумбита и танталита, циркона и монацита, ильменита и рутила, алмазов и других драгоценных камней. Известны также россыпи киновари, вольфрамита и шеелита, которые из-за хрупкости этих минералов характеризуются небольшими размерами. Они формируются непосредственно около россыпеобразующего источника.

#### *Типы и механизм образования россыпей, россыпеобразующие формации и комплексы*

В зависимости от форм перемещения обломочного материала, места его отложения и особенностей концентрации в нем тяжелых минералов выделяют следующие основные типы россыпей: 1) элювиально-делювиальный; 2) аллювиальный; 3) литоральный; 4) ледниковый; 5) эоловый. Самые распространенные и значительные по размерам -аллювиальные россыпи подразделяют на косовые, русловые, долинные, террасовые и дельтовые. Россыпи, залегающие под толщей осадков более позднего образования, называются *погребенными*. Обычно это *древние* дочетвертичные образования, нередко подвергшиеся процессам диагенеза, катагенеза и даже метаморфизма. Россыпи, связанные с эрозией и формами рельефа четвертичного периода, называются *современными*.

Механизм образования россыпей всех типов обусловлен гравитационной и механической дифференциацией различных по крупности и форме обломков пород, по плотности ценных минеральных агрегатов и зерен в процессе их перемещения, вызванного действием силы тяжести, водных потоков, ледника, гидравлического удара морской волны и ветра. При этом происходит истирание и скатывание обломков и минеральных зерен и упорядоченное распределение их в россыпи по размерам, морфологии и плотности. Каждый тип россыпей имеет свои особенности образования.

**Элювиально-делювиальный тип россыпей** формируется в условиях расчлененного рельефа и представлен пространственно сопряженными либо незначительно разобщенными элювиальными и делювиальными образованиями. Первые из них образуются непосредственно на месте разрушения рудоносных пород и могут представлять собой либо рудные развалы, либо обогащенный в процессе выветривания обломочный покров.

Сползая по склону, обломочный материал сортируется, образуя на понижениях склонов и у подножия делювиальные россыпи. Смежное положение рассмотренных россыпей и общность образующих их рудных или геологических формаций и комплексов позволяют рассматривать эти россыпи как единые элювиально-делювиальные месторождения. Примерами служат россыпи хромитов (Урал, Камчатка, Япония), корунда (Семиз-Бугу, Казахстан), касситерита (Якутия, Чукотка и Забайкалье), золота (Восточная Сибирь), колумбита (Нигерия, Плато Джос), монацита (штат Каролина в США), алмазов (Якутия, Южная Африка), вольфрамита (Чулун-Хуриэтэ в МНР). Обычно эти россыпи характеризуются ограниченными размерами, крупной фракцией ценных компонентов и высоким их содержанием. Располагаясь на площади рудных месторождений или вблизи, они служат их прямым поисковым признаком.

**Аллювиальный тип россыпей** имеет исключительно важное промышленное значение в связи с широким площадным распространением как современных, так и древних погребенных россыпей золота, платины, касситерита, ильменита, рутила, алмазов и других ценных минералов. Этот тип россыпей, характеризующихся большой протяженностью, иногда на десятки километров, связан с деятельностью рек: размывом (эрозией), переносом и аккумуляцией материала. В результате неоднократного понижения базиса эрозии и врезания рек последовательно образуются русловые, долинные, террасовые и дельтовые россыпи. Они формируются при определенном соотношении скорости потока и фракционного состава аллювия. При этом происходит его расслоение по размеру, морфологии и плотности обломков. Ценные минералы накапливаются в нижних частях аллювия, в особенности на плотике.

*Плотик* - это основание россыпи. Его поверхность может быть ровной, неблагоприятной для концентрации ценных минералов, или ребристой, способствующей задерживанию тяжелой минеральной фракции, или закарстованной с гнездовым скоплением полезных минералов. Иногда за плотик ошибочно принимают глинисто-илистые отложения или скопления крупно-обломочного материала. Такой плотик ложный. Залегающие на плотике валунно-галечные отложения с примесью песчано-глинистого материала и ценных минералов в промышленно-значимых концентрациях называются *песками*. Мощность песков изменяется от десятых долей метра до нескольких метров. Пески перекрываются так называемыми *торфами*, представляющими собой обедненные ценными минералами песчано-глинистые осадки. Общая мощность аллювиальных россыпей достигает 20 м и более.

**Литоральный тип россыпей** формируется в прибрежно-морских условиях между линиями прилива и отлива или в зоне прибоя. Россыпи сложены хорошо отсортированным материалом и могут содержать в промышленных концентрациях равномернозернистые окатанные зерна ильменита, магнетита, рутила, монацита, циркона и касситерита. Известны также прибрежно-морские россыпи алмазов (Намибия), золота и платины (Аляска). Особенность россыпей этого типа - большая их протяженность в виде узких линз вдоль береговой линии, достигающая иногда сотни километров, при мощности продуктивных линз всего лишь около 1 м.

**Ледниковый тип россыпей** связан с переносом и отложением обломочного материала двигавшимся льдом и последующим перебивом этого материала. Практическое значение гляциальных россыпей невелико. Известны золотоносные, алмазоносные морены в США. При перебиве моренных отложений образовались месторождения формовочных песков, золота и платины.

Эоловый тип россыпей образуется вдоль морских побережий и в пустынях при перебивания песков. Примером являются эоловые россыпи алмазов в Намибии.

Россыпеобразующие формации и комплексы могут быть геологическими и рудными. В первом случае аксессуарные минералы горных пород, подвергшихся физическому и химическому выветриванию, образовали концентрации ценных минералов в россыпи. Во втором - выветриванию подверглись рудные (коренные) образования. Связь с определенными

рудными формациями и комплексами отчетливо проявлена на россыпях элювиально-делювиального типа.

Аллювиальные россыпи могут формироваться на очень большом удалении от продуцирующих их формаций с полной утратой связи с ними. Источником ценных минералов литоральных россыпей могут быть аллювиальные образования прибрежных рек, делювий морских берегов и волноприбойный обломочный материал. Россыпеобразующие формации иногда проявлены выходами рудных жил в клиффе. Еще сложнее связь ледниковых и эоловых россыпей с образующими их формациями. Она устанавливается косвенно: по качественному составу ценных минералов, габитусу их кристаллов, элементам-примесям и ряду других признаков.

*Роль геоморфологии, тектоники, климата и гидрографии в формировании россыпей*

Помимо геологических и рудных формаций и комплексов, питающих россыпи обломочным материалом и ценными минералами, большое влияние на процессы россыпеобразования оказывают геоморфологические, тектонические, климатические и гидрографические факторы.

Благоприятным геоморфологическим условием формирования россыпей в бассейнах рек является средне- и мелкогорный рельеф, когда в результате эрозионной деятельности рек создаются оптимальные для россыпеобразования равновесные продольные и поперечные профили. Каждому понижению базиса эрозии реки соответствует эрозионный цикл. Вначале интенсивно углубляется русло реки, практически с полным выносом материала, затем начинает преобладать боковая эрозия, сопровождаемая сортировкой осадков и образованием россыпей. В дальнейшем продольный профиль реки выравнивается и эрозионная деятельность затухает.

В соответствии с характером эрозионной деятельности выделяются три зоны: 1) углубления долин, 2) расширения долин, 3) зрелых долин. В первой из них встречаются лишь террасовые россыпи, во второй -разнотипные аллювиальные образования, в третьей - русловые и долинные россыпи.

При последующих эрозионных циклах происходит переотложение материала и формирование новых россыпей, дополнительно обогащенных ценными минералами от размыва предшествующего цикла. Причем зона зрелых долин старого цикла смещается к истокам реки нового цикла. Формирование литоральных россыпей протекает интенсивнее в условиях расчлененного прибрежно-морского рельефа с многочисленными каньонообразными долинами рек.

Россыпи гляциального типа - образования редкие. Они связаны с ледниковыми формами рельефа. Эоловые россыпи морских побережий залегают в различных по форме дюнах.

На геоморфологию (рельефообразование) определяющее влияние оказывают тектонические и климатические процессы. Изменение базисов эрозии повторяемость эрозионных циклов обусловлены тектоническими блоковыми перемещениями, в особенности вертикальными. При интенсивном поднятии блоков формировались аллювиальные россыпи, а при постепенном их опускании и трансгрессии моря возникали прибрежно-морские россыпи. С цикличностью эрозионно-аккумулятивных процессов связано омолаживание и обогащение россыпей.

Климатические условия определяют интенсивность и соотношение физического и химического выветривания. В зонах холодного климата, резких перепадов суточных температур и распространения многолетней мерзлоты преобладает физическое, главным образом морозное, выветривание с образованием грубообломочного материала, с последующим его истиранием и грануляцией в процессе переноса речными потоками и обособлением ценных минералов в аллювиальных россыпях.

Наиболее благоприятной для их формирования является зона умеренного климата, сочетающая физическое и химическое выветривание. В гумидных зонах с муссонным климатом, где интенсивно происходит химическое выветривание, сначала образуются коры выветривания, обогащенные ценными минералами. Затем в случае их размыва и

переотложения обломочного материала могут образоваться прибрежно-морские, реже аллювиальные россыпи.

Гидрографические и гидрогеодинамические условия оказывают влияние на процессы переноса и отложения обломочного материала. С сезонными колебаниями величины стока рек связывают перемыв обломочного материала и образование аллювиальных россыпей.

Гидрогеодинамический фактор, обусловленный приливами и отливами, морскими течениями, различной плотностью воды, морфологией морского дна, преобладающим направлением ветра, влияет на формирование прибрежно-морских россыпей.

*Морфология, размеры и минеральный состав россыпей алмазов, золота, ильменита и рутила*

Россыпные месторождения отличаются от коренных приповерхностным залеганием и относительно простой морфологией продуктивных залежей, позволяющих их разрабатывать дражным, экскаваторным, бульдозерным или другим экономически эффективным способом.

Не менее важной особенностью россыпей является простой состав ценных минералов, извлечение которых осуществляется в большинстве случаев дешевым и высокопроизводительным гравитационным способом без предварительного измельчения обломочного материала. Наибольшее практическое значение и высокую ценность имеют россыпи алмазов и золота, а также ильменита и рутила.

**Россыпи алмазов** образовались в результате интенсивного физико-химического выветривания алмазоносных кимберлитовых и лампроитовых, трубчатых и жилообразных тел, последующих процессов размыва, переноса и отложения продуктов выветривания.

Известны элювиальные, делювиальные, аллювиальные и прибрежно-морские россыпи алмазов. Элювиальные россыпи залегают непосредственно на алмазоносных телах. От них в виде шлейфов по склонам водотоков спускаются делювиальные россыпи и далее по речной гидросети развиваются аллювиальные россыпи. При транспортировке материала алмазы, как самые твердые минеральные образования, меньше всего подвергаются разрушению. Их концентрации увеличиваются в нижних частях россыпей и падают по мере удаления от кимберлитовых и лампроитовых трубок. Известны древние ископаемые россыпи алмазов (Витватерсранд, ЮАР), в которых обломочный материал сцементирован и превращен в твердую породу, и современные россыпи, сложенные рыхлыми образованиями.

Промышленное содержание алмазов изменяется от 0,05 до 1 кар. в 1 м<sup>3</sup> песков. Метрический карат соответствует 200 мг. Спутниками алмазов являются пироп, ильменит, рутил, циркон, магнетит, хромдиоксид, перовскит, шпинель и др.

**Золотоносные россыпи**, как и алмазоносные, также могут быть элювиальными, делювиальными, аллювиальными и литоральными. Самые распространенные и значительные по размерам аллювиальные россыпи. В России имеются россыпи золота всех типов. Они находятся в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. Широко известны россыпи бассейна Бодайбо (Ленский район), представляющего собой глубоко расчлененное низкогорье. Падение тальвега р. Бодайбо изменяется от 2 м/км в нижнем течении, до 18 м/км в верховье. Россыпи залегают на террасах и в глубоких тальвегах. Длина террасовых россыпей сотни метров.

Наибольшую промышленную ценность представляют погребенные россыпи. По гранулометрическому составу и окатанности выделяются галечные, валунно-галечные и щебенистые пласты. В первых двух повышенные концентрации золота связаны с глинистым материалом; в щебенистых пластах они приурочены к их нижней части.

**Россыпи ильменита и рутила** являются основным источником получения титанового сырья. Главное промышленное значение имеют прибрежно-морские ильменит-рутил-цирконовые россыпи, а также континентальные (аллювиальные и аллювиально-делювиальные) россыпи ильменита. В России преобладают древние погребенные россыпи мезокайнозоя. Современные прибрежно-морские россыпи крупных размеров

распространены в Австралии, а также на восточном побережье Камчатки, на побережьях Балтийского, Черного и Азовского морей. Эти россыпи пока не находят практического использования.

Россыпи формировались на платформах при денудационно-аккумулятивных процессах: прибрежно-морские в период трансгрессии моря, а континентальные россыпи в условиях регрессирующих морей. Прибрежно-морские россыпи представляют собой пластообразные переслаивающиеся залежи песков мощностью в десятки метров, протяженностью многие километры при ширине в сотни метров. По составу они кварцевые. Полезные минералы - ильменит, рутил, лейкоксен, циркон с размером основной массы зерен 0,05-0,15 мм. Содержание титановых минералов изменяется от  $n \cdot 10$  до  $n \cdot 100$  кг/м<sup>3</sup>. Такие россыпи известны в бассейне р. Самоткань (Украина).

Континентальные россыпи ильменита связаны с перемывом коры выветривания, развитой на ультраосновных и основных массивах и содержащей зерна ильменита. Россыпи формируются в долинах рек. Продуктивные тела имеют форму лентовидных извилистых залежей с горизонтальной или косой слоистостью, сложенных кварцем, полевым шпатом и каолинитом. Содержание ильменита до 100-200 кг/м<sup>3</sup>. Примером служит Иршанская аллювиальная россыпь.

Россыпи других ценных минералов: платины, касситерита, вольфрамит, танталита и колумбита, монацита и пироклора во многих районах земного шара уже отработаны.

Россыпи платиновых минералов ассоциируют с дунитами и другими ультраосновными породами, слагающими обширные по площади массивы в гранулитогнейсовых и зеленокаменных поясах, во внутриплитных рифтах, трапповых провинций и зонах активизации. Известны элювиальные, делювиальные и наиболее продуктивные аллювиальные россыпи Среднего Урала.

Оловоносные россыпи в ряде стран до сих пор имеют важное промышленное значение. Они образовались за счет выветривания пегматитовых, грейзеновых и гидротермальных месторождений олова. Известны континентальные и прибрежно-морские россыпи. Элювиальные и делювиальные россыпи формировались в зонах гумидного климата. Мощность их достигает  $n \cdot 10$  м. Среднее содержание касситерита составляет от 0,5 до 6 кг/м<sup>3</sup>. Совместно с касситеритом встречаются вольфрамит, шеелит, киноварь, циркон, золото, магнетит, топаз и турмалин. Аллювиальные россыпи характеризуются меньшими значениями мощности и содержания касситерита. Современные россыпи этих типов известны на Чукотке (Пыркакайский рудный узел), в Якутии (многоярусная россыпь - Тенкели), в МНР (Модото).

Среди прибрежно-морских россыпей, распространенных в Юго-Восточной Азии, все большее значение приобретают россыпи погруженных на морское дно речных долин, вдающихся в море на 5-15 км от береговой линии.

Россыпи вольфрамит, побнерита, шеелита, танталита и колумбита имеют ограниченные размеры, что объясняется способностью кристаллов этих минералов при переносе к переизмельчению, т.е. к переходу в не-извлекаемые шламовые формы. Делювиально-аллювиальные вольфрамовые россыпи распространены на жильных и штокерковых рудных полях Центрального Казахстана, Забайкалья и в Приморском крае.

Россыпи танталита, колумбита и пироклора аналогичного типа известны в Нигерии, Заире и Бразилии. Прибрежно-морские россыпи монацита, содержащего редкие земли, распространены в КНДР, Индонезии, Индии и Бразилии.

## **Тема Осадочные месторождения.**

### План лекции

1. Осадочные месторождения
2. Биогенные (биохимические) осадки.

Механические осадки. Геологические и физико-химические условия образования. Типы россыпей (континентальных и прибрежно-морских), процессы их формирования. Строение, размеры, основные рудные формации и примеры месторождений. Промышленное значение.

Особенности формирования химических осадков из истинных растворов, формы рудных тел, минеральный состав, текстуры руд. Основные рудные формации с примерами месторождений. Промышленное значение.

Особенности формирования химических осадков из коллоидных растворов, формы рудных тел, минеральный состав, текстуры руд. Основные рудные формации с примерами месторождений. Промышленное значение.

Класс осадочных месторождений самый многочисленный. Его месторождения ассоциируют с литологическими формациями, избирательно приуроченными к определенным фациям, отражающими динамику ландшафтных преобразований. Эти преобразования вместе с энергией солнца и положением породного субстрата в глобальных геоструктурах служат энергетическими факторами формирования осадочных месторождений.

В глобальных геоструктурах - на континентах, в океанах и переходных между ними зонах выделяются характерные терригенные формации и фациальные комплексы различных геодинамических обстановок, и соответствующие им структурно-геоморфологические типы, и связанные с ними формации полезных ископаемых (см. табл. 2.6). По этим признакам рассмотренные стратиформные и россыпные месторождения могли бы относиться также к осадочным образованиям.

Однако стратиформное рудообразование обнаруживает связь с эндогенными процессами, а россыпи не утратили полностью связь с россыпеобразующими рудными формациями и комплексами. В этом классе рассматриваются месторождения, сформировавшиеся в результате экзогенных процессов седиментогенеза и возможных последующих диагенетических и катагенетических изменений осадков и полезных в них образований, не связанных с конкретными их источниками. К таким образованиям относятся месторождения механических и гидрогенных осадков, вулканогенно-осадочные и биогидрогенные месторождения.

*Механическая и химическая дифференциация вещества в процессе осадконакопления. Диагенез и катагенез*

*Седиментогенез* - это образование осадка, включающее захват и перенос водными потоками продуктов выветривания в виде механических взвесей, катящихся обломков, растворимых веществ с последующим их осадконакоплением на дне водоемов.

Продукты выветривания, переносимые водными потоками механическим путем, т.е. в нерастворенном виде, осаждаются в определенной закономерной последовательности, обусловленной величиной и формой частиц, их плотностью и изменением энергии потока. Такая сортировка обломочного материала называется *механической дифференциацией*. Первыми, по крупности обломков, прекращают перемещение глыбы и валуны, затем галька, щебень, гравий и песок, далеко уносятся глинистые частицы. При этом происходит также сортировка обломков по форме и плотности. При равных размерах крупные окатанные частицы переносятся донными течениями дальше, чем слабоокатанные.

Мелкочешуйчатые минералы легче переносятся во взвешенном состоянии, чем округлые зерна. Еще более четкое разделение обломков происходит по их плотности. В первую очередь вместе с крупнообломочным материалом выпадают минералы тяжелой фракции. Затем осаждается мелкообломочный материал с невысокой плотностью частиц. Очень мелкие частицы независимо от плотности уносятся водными потоками и ветрами на большие расстояния. Увеличение скорости потока до определенных значений приводит к возрастанию роли механической дифференциации.

Основная масса обломочного материала сносится в море, где происходит его гранулометрическая сортировка: вблизи береговой линии откладывается крупнообломочный материал (галечник, гравий и песок), причем от побережья до глубины

20м наблюдается постепенное уменьшение размеров частиц, связанное с регулирующим воздействием волновых движений; далее во внешней части шельфа осаждаются алевроитовые частицы, а во внутренней - пелиты (частицы менее 0,01 или 0,001 мм).

*Механическая дифференциация* в действительности протекает сложнее, поскольку зависит также от особенностей рельефа дна бассейна, его размеров, глубины зоны взмучивания и гидродинамического режима. Реки выносят в бассейны в виде механических взвесей основную массу глинистого материала, большую часть железа, марганца, фосфора, хрома, никеля, кобальта, меди и ванадия. Меньшая часть этих компонентов поступает в водоемы в форме коллоидных растворов.

*Химическая дифференциация* вещества осуществляется в зонах гумидного и аридного климата, протекая одновременно с механической дифференциацией. Согласно схеме Л.В. Пустовалова, растворенные вещества химически последовательно осаждаются под влиянием изменения рН и Eh морской среды. Вначале должны выпадать в осадок оксиды, затем фосфаты, силикаты, карбонаты и в конце садки - сернокислые и галоидные соли. Эта схема подверглась критике со стороны Н.М. Страхова и других геологов. С учетом сделанных замечаний можно полагать, что такая дифференциация осадочных веществ в полном виде в природе маловероятна, поскольку климатические зоны имеют различную специализацию процессов выветривания. Кроме того, важную роль играет жизнедеятельность морских организмов, определяющих накопление органики, осаждение карбонатов, кремнезема и фосфатов.

В зонах гумидного климата при коагуляции коллоидных растворов происходит осаждение бокситов, железа, марганца, а в зоне аридного климата - меди, свинца и цинка, образующих стратиформные месторождения. С осолонением бассейна здесь связана последовательная садка ангидрита, галита и калийных солей.

Большую роль в осадочном рудообразовании, по мнению Н.М. Страхова, играют диагенетические процессы. Многие рудные образования, входящие в состав осадка, возникают в процессе его диагенеза.

*Диагенез* - это образование неустойчивого первичного осадка, сильно обводненного и богатого органическим веществом, в осадочную породу. При этом продолжается химическая дифференциация вещества. В верхней оксидной зоне возникают концентрации гидроксидов железа и марганца, а в нижней восстановительной зоне образуются залежи сидерита, силикаты железа, карбонаты марганца, желваковые фосфориты, сульфиды железа, меди, свинца и цинка. Дальнейшее окаменение осадков, связанное с возрастанием давления и температуры, происходит в стадию *катагенеза* и сопровождается отложением из осолоненных растворов флюорита, целестина, гипса и ангидрита. Твердые органические вещества могут трансформироваться в газ и нефть.

#### *Месторождения механических осадков*

К месторождениям механических осадков относят достаточно крупные природные скопления гальки, щебня, гравия, песков и глин, находящихся в благоприятных горно-геологических и инженерно-гидрогеологических условиях. Заметим, что россыпные месторождения наделены всеми признаками месторождений механических осадков, имея с ними много общих условий образования. Для отличия месторождений механических осадков от россыпей их называют обломочными осадочными. Они образовались в результате гранулометрической сортировки обломков водными потоками, ледником и ветром,

В зависимости от форм сортировки и места образования обломочные осадочные месторождения могут быть элювиальными, делювиальными, пролювиальными, аллювиальными, озерными, морскими, флювиогляциальными и эоловыми. Они образуются на платформах и в складчатых областях. По времени формирования выделяют дочетвертичные, древнечетвертичные и современные месторождения. Чем древнее обломочный материал, тем он более уплотнен. Однако качественная характеристика его состава со временем могла существенно улучшиться.

К элювиальным образованиям относятся месторождения дресвы и песка, представляющие собой продукты физического выветривания различных горных пород. Дресва состоит из неокатанных обломков размером от 1 до 10 мм, а песок представлен крупной разновидностью с диаметром от 0,5 до 1 мм.

Делювиальные и пролювиальные отложения представлены всеми видами обломочных пород. С аллювиальными, озерными, морскими и ледниковыми образованиями связаны месторождения гравия, песков и глин. Среди эоловых отложений полезными могут быть пески и лёсс.

Обломочные осадочные месторождения служат источником получения сырья для строительных материалов.

#### *Месторождения гидrogenных осадков*

Гидрогенные осадки формируются на дне водоема в результате химического осаждения минеральных веществ из истинных и коллоидных растворов и могут представлять собой полезные ископаемые. Их месторождения называют также хемогенными или химическими. При образовании таких месторождений часть веществ осаждается из механических взвесей. Осадки из истинных растворов слагают месторождения различных минеральных солей, гипса, ангидрита, боратов, барита и целестина. В процессе коагуляции коллоидных растворов и осаждения тонкодисперсных взвесей возникают месторождения бокситов, железных и марганцевых руд.

Месторождения - производные истинных растворов - образуются в аридном климате при засолении лагун и других прибрежных морских бассейнов, когда происходит интенсивное испарение, преобладающее над осаждением. Как известно, морская вода имеет среднюю соленость 3,5 %, что составляет 35 г солей на 1 л, и представляет собой истинный раствор в основном хлоридных, сернокислых и углекислых соединений натрия, калия, магния и кальция, на долю которых приходится 3,05 %. Привносимые с притоком воды из моря через узкие проливы (горловины) и барьерные рифы растворенные минеральные вещества при постоянном объеме воды в лагуне увеличивают концентрацию раствора, доводя ее до перенасыщения. И тогда сезонные колебания температуры приводят к осаждению из него значительной части минеральных веществ, называемых *эвапоритами*. Такие морские бассейны формируются при медленном тектоническом опускании прибрежных участков.

Осаждение минеральных веществ в солеродных бассейнах происходило в последовательности, обратной их растворимости. При достижении солености 15 % осаждаются карбонаты кальция и магния с последующим диагенетическим преобразованием их в кальцит и доломит. В интервале солености 15-27 % выпадал в осадок гипс. При дальнейшем повышении концентрации в осадок переходили глауберит, гейлюсит, мирабилит и тенардит, сода, астраханит и начинали формироваться толщи галита.

Эвапоритовые месторождения могут быть представлены ископаемыми залежами минеральных солей или связанными с ними подземными соляными водами и рассолами, природными соляными рассолами и залежами минеральных солей в современных морских или континентальных бассейнах.

Ископаемые залежи минеральных солей достигают мощности нескольких сот метров. Такие мощные залежи формировались в длительно развивавшихся краевых прогибах и во впадинах фундамента и чехла платформ. Максимумы солеобразования приходились на позднюю стадию тектонических этапов. Крупные месторождения калийных солей сформировались в позднедевонское время. На территории Республики Беларусь они приурочены к Припятскому прогибу. Это месторождения Старобинское и Петриковское.

Самым солепродуктивным явился пермский период, когда на завершающей стадии герцинского этапа сформировались уникальные месторождения калийных солей на западном склоне Урала (Верхнекамское и Соликамское), каменной соли в Донбассе (Славяно-Артемовское).

Соляные тела имеют пластовую, пласто- и линзообразные формы, чаще горизонтальное или слабонарушенное залегание, реже складчатое. Соленосные залежи распространяются на площадях в десятки и даже сотни квадратных километров, достигая мощности 800-1000 м. Однако мощность продуктивных соленосных горизонтов составляет первые метры. Во многих областях развита солянокупольная тектоника. Ядра соляных куполов представлены вертикально вытянутыми, иногда на несколько километров, штоками сложной формы.

*Шток* представляет собой соляной массив цилиндрической формы, высота которого значительно больше его диаметра. На поверхности они имеют округлую или овальную форму и размеры  $\pi \cdot 10 \text{ км}^2$ . Только в Прикаспийской низменности известно более 300 соляных куполов и штоков пермского возраста.

Состав солей на многих месторождениях комплексный: совместно залегают пласты каменной, калийной и магниевой хлоридных солей, иногда на толщах ангидритовых и гипсовых пород. Месторождения ископаемых солей иногда содержат в значительных количествах бор. В карбонатных толщах образовались пластовые залежи барита.

Месторождения подземных соляных вод и рассолов известны в районах развития ископаемых солей. В России это в основном источники хлоридных вод, например, рассолы, выкачиваемые из недр Верхнекамского соляного бассейна. Из рассолов получают поваренную соль. Попутные полезные компоненты - хлористый кальций, магний, йод, бром.

Современные морские соляные месторождения приурочены к мелководным лагунам, заливам и лиманам, постепенно утрачивающим связь с морем и находящимся в зоне жаркого и сухого климата. Соли находятся в растворах и рассолах, а также образуют донные залежи выпавших из них твердых солей. Примером служат лиманы Крыма, Сиваша, залив Кара-Богаз-Гол, обеспечивающий потребности различных отраслей промышленности в тенардите -  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и мирабилите -  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .

Континентальные соляные месторождения возникают в процессе выщелачивания подземными водами ископаемых солей, при последующем выносе и отложении их в бессточных озерах. В странах СНГ пояс соляных (хлоридных, сульфатных и содовых) озер протягивается в широтном направлении от устья р. Дунай до Забайкалья. В соляных водах некоторых озер содержатся йод и бром, а в поверхностной и межзернистой рапе литий.

Среднее содержание лития в рапе составляет 0,015 %, доля в мировых запасах 43,4 % и добыче 49 %. В озере Сильвер-Пик (США) содержание лития 0,04 %. Запасы оценивают в 3,5 млн. т.

**Месторождения - производные коллоидных осадков** - образовались в результате выноса поверхностными и фунтовыми водами с водозаборной площади, находившейся в зоне гумидного климата, рудных компонентов в форме тонких взвесей, коллоидных и истинных растворов и последующего их отложения в водных бассейнах. Таким путем сформировались месторождения бокситовой, железорудной и марганцевой формаций.

Благоприятными для бокситов исходными рудопродуцирующими породами являются кислые и щелочные породы, а для железа и марганца -основные. Алюминий переносится в форме гидроксида в кислых ( $\text{pH} < 4$ ) или сильно щелочных ( $\text{pH} > 9,5$ ) растворах и выпадает в осадок первым. Вслед за ним осаждаются гидроксиды железа и марганца. Для этих руд характерно оолитовое строение.

*Оолиты* - это мелкие (0,1-1 мм, иногда до 2-4 см) шаровидные или эллипсоидальные образования, обладающие концентрически-слоистым строением. Далее от береговой линии бассейна в сторону распространения глубоководных осадков при  $\text{pH}$  4-6 осаждаются силикаты железа (шамозит и тюрингит) и манганит -  $\text{MnO}_2 \cdot \text{Mn}(\text{OH})_2$ , еще далее в условиях нейтральной среды образуются сидерит -  $\text{FeCO}_3$  и родохрозит -  $\text{MnCO}_3$ . Разложение органических веществ без доступа кислорода протекает с выделением  $\text{H}_2\text{S}$ . В этих условиях образуются сульфиды железа - пирит и марказит.

**Бокситовая формация.** Осадочные месторождения бокситов по условиям образования подразделяются на платформенные и складчатые, а по минеральному составу - на диаспоровые, бемит-диаспоровые и гиббситовые, или гидраргиллитовые.

Платформенные месторождения залегают в терригенных толщах и представлены в основном гидраргиллитовыми разностями, а складчатые месторождения приурочены к карбонатным породам и сложены пластообразными бокситами диаспорового и бёмит-диаспорового состава. Бёмит и его кристаллическая форма - диаспор имеют одинаковый состав -  $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ , гиббсит (гидраргиллит) -  $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ .

Платформенные месторождения бокситов - это преимущественно озерно-болотные образования, развитые в краевых частях синеклиз в эрозионно-тектонических депрессиях, зонах сочленения платформ со складчатыми структурами. Такие месторождения ран некаменноугольного возраста расположены на северо-западной окраине Московской синеклизы: (Тихвинские и Северо-Онежские группы месторождений).

Месторождения бокситов складчатых областей формировались в мелководных морских фациях в период перерыва осадконакопления. Пласты бокситов залегают выше поверхности несогласия; вместе с вмещающими толщами карбонатных пород они подверглись тектоническим дислокациям. Такие месторождения известны в Северо-Уральском бокситовом районе - Красная Шапочка, Кальинское, Черемуховское и др. Часто бокситы залегают в понижениях закарстованной поверхности известняков (о. Ямайка).

**Железорудная формация.** Осадочные месторождения железных руд могут быть аллювиальными, дельтовыми, лиманными и прибрежно-морскими. По минеральному составу выделяют оксидные, карбонатные и силикатные руды. Эти месторождения имеют большую площадь распространения пластовых руд: десятки километров в длину и несколько километров в ширину, при мощности пластов в десятки метров.

Осадочные месторождения железных руд формировались в различные геологические эпохи. Месторождения железистых кварцитов (Кривой Рог, КМА, Верхнее Озеро в США) образовались за счет метаморфизма докембрийских осадочных образований. Несколько эпох образования осадочных месторождений отмечено в фанерозое. Самой продуктивной является олигоцен-четвертичная эпоха экзогенного рудообразования. Только в Западно-Сибирском палеогеновом железорудном бассейне учтено 700 млрд. т прогнозных ресурсов с содержанием железа 30-40 %. В неогене образовались платформенные месторождения Керченского, а в позднем мелу Аятского (Тургайский прогиб) бассейнов.

Осадочные континентальные месторождения представлены гидро-гётитовыми, бобово-оолитовыми озерно-болотными рудами различного состава: известны юрские мелкие месторождения в Тульской и Липецкой областях, довольно крупные олигоценовые аллювиальные месторождения в Тургайском прогибе в Казахстане (Лисаковское, Октябрьское, Шиелинское). Такие руды продолжают формироваться в настоящее время.

Марганцевая формация. Осадочные месторождения марганцевых руд по сравнению с оксидными железными рудами смещены в сторону глубоководной зоны. Это объясняется большей подвижностью марганца, по сравнению с железом. Однако площадь распространения марганца меньше. Месторождения марганца связаны с глинисто-карбонатными формациями и характеризуются многослойным строением рудоносных толщ. Марганцевые рудные тела по размерам почти на порядок меньше железорудных, они также имеют пластовую, пластообразную и линзовидную формы и различный минеральный состав. Выделяют оксидные, гидроксидные, карбонатно-оксидные марганцевые и оксидные железомарганцевые руды.

Наиболее важное практическое значение имеют оксидные и гидроксидные руды, сформировавшиеся в олигоценовое время (месторождения Никопольское и Больше-Токмакское на Украине и Чиатурское в Грузии). Отметим, что самые крупные в мире олигоценовые осадочные месторождения с запасами марганца в *n* млрд. т находятся в северном полушарии, протягиваясь в виде субширотной полосы из Болгарии через Украину, Кавказ, Закаспий, Восточную Сибирь вплоть до Камчатки, не подчиняясь ни характеру тектонических структур, ни палеогеографическим особенностям территорий.

Глубоководные железомарганцевые конкреции. В последние десятилетия все большее внимание исследователей уделяется изучению глубоководных железомарганцевых

образований, возникающих на дне современных океанов в рифтовых зонах и на склонах поднятий, на глубине от 0,8-4,2 до 6 км. Они представляют собой конкреции и рудные корки. Конкреции имеют сферическую, лепешковидную, желваковую, гроздевидную и плитчатую формы размером в поперечнике 1-10 см. Толщина рудных корок на подводных вулканах 2-3 см. Хотя среднее содержание марганца в конкрециях составляет около 18,6 %, а железа - свыше 12 %, основной практический интерес в них представляют другие металлы (%): кобальт 0,27, никель 0,66, медь + никель 1,12. Концентрация таких конкреций на глубине 4270 м достигает 10 кг/м<sup>2</sup>.

Средние содержания марганца, никеля + меди в конкрециях Тихого океана выше соответственно в 1,42 и 2,36 раза, чем в конкрециях Атлантического океана и в 1,12 и 1,5 раза, чем в конкрециях Индийского океана.

В океанических конкрециях обнаружено около 60 химических элементов. В конкрециях, содержащих 0,5 % кобальта, отмечаются наиболее высокие содержания Tl, V, Y, Zr, La, Ce, Pb, Sr и P, а в конкрециях с суммой никеля и меди более 1,8 % - высокие концентрации Mo, Sc, Cr и Zn. Прогнозные ресурсы железомарганцевых конкреций составляют триллионы тонн. Формирование железомарганцевых конкреций происходило в течение всего четвертичного периода.

### **Тема Биогенные (биохимические) осадки.**

#### План лекции:

1. Собственно биогенные и углеводородные полезные ископаемые, геологические и физико-химические условия образования.
2. Формы тел полезных ископаемых, вещественный состав.

Разделение месторождений по физическим свойствам на твердые, жидкие и газообразные. Генетические типы месторождений углеводородов, примеры месторождений. Промышленное значение.

Биогенные, или биохимические, месторождения сформировались при участии органических соединений, концентрировавших различные, в том числе полезные, компоненты. В результате физико-химических преобразований этих соединений в минеральную форму произошло накопление биогенных полезных ископаемых. Среди них ведущее место по распространенности и общей массе занимают органогенные известняки, кремнистые образования, фосфориты и сера. Биогенное происхождение имеют также горючие ископаемые (каустобиолиты).

*Органогенные известняки* представлены фанерозойскими уплотненными толщами ракушняка, строматолитов и писчего мела (месторождения Крыма, Молдавии, КМА).

*Кремнистые образования* - диагенетически измененные скопления скелетов диатомей и радиолярий (Украина).

*Фосфориты* - аморфные или скрытокристаллические фосфаты кальция. Широко распространены пластовые и желваковые (конкреционные) фосфориты. Первые из них образовались в морских фациях умеренных глубин и представлены сплошными богатыми фосфором пластами, например месторождения Каратауской группы в Казахстане. Желваковые фосфориты представляют собой конкреции округлой формы размером более 2 мм. Они слагают бедные и маломощные платформенные месторождения егорьевского типа (Московская синеклиза).

*Сера* биохемогенная образовалась в морских бассейнах в результате преобразования сульфатов и возникновения сероводорода под действием анаэробных бактерий, его миграции в кислородную зону, последующего окисления или разложения при участии аэробных бактерий (месторождение Гаурдакское в Поволжье).

*Каустобиолиты* - минеральные образования существенно органического состава. Среди них выделяют каустобиолиты нефтяного (битумного) ряда, обладающие

миграционной способностью, и твердые каустобиолиты угольного ряда, сформировавшиеся сингенетично осадконакоплению

### **Месторождения углеводородов**

Углеводородная группа включает месторождения нефти, природного газа и производных от них твердых битумов. Представление о генезисе углеводородов основаны на двух принципиально различных подходах -неорганического и органического происхождения. С первым из них связана широко известная карбидная гипотеза Д.И. Менделеева, согласно которой нефть и газ образуются при химическом взаимодействии расплавленных карбидов металлов и воды на больших глубинах. Менее популярны гипотезы образования углеводородов в генетической связи с расплавами магмы или космопланетарными процессами.

Заслуживают внимания модель "водородного дыхания мантии" через глубинные разломы и последующего взаимодействия водорода с углеродными соединениями земной коры, а также роль генерированного мантией флюидного и теплового паточка в преобразовании погребенного органического вещества в газообразные и жидкие углеводороды.

В теории биогенного генезиса наибольшую доказательность имеет модель сапропелевого смешанного растительно-животного происхождения нефти. Изначально при отмирании живых организмов, которые состоят из протеинов, углеводов, липидов и лигнина, в бес-кислородной водной среде в связи с глинистыми частицами происходит их седиментация с образованием материнских пород и керогена. *Кероген* - это органические компоненты осадочных толщ, в отличие от битумов нерастворимые в органических и щелочных растворителях. Керогена в 1000 раз больше, чем угля и нефти.

Образование углеводородов в осадочных породах связано с процессами диагенеза, категенеза и частично метагенеза под воздействием температуры, давления, растворов и биогеохимических факторов. В ходе этих процессов органические вещества трансформировались: на стадии диагенеза - в метан и ранний газ, на стадии категенеза - в нефть, жирный газ и конденсат; при метагенезе продолжалось образование конденсата и метана.

Таким образом, образовавшиеся углеводороды находились в материнских породах глинистого состава в диффузионно-рассеянном состоянии. Затем под действием капиллярных и гравитационных сил переместились в породы повышенной пористости и проницаемости, формируя в структурных ловушках промышленно значимые залежи: нефтяные, газовые и нефтегазовые. Такие благоприятные для нефтегазонасыщения породы называются *коллекторами*. Основными типами коллекторов являются: терригенный, карбонатный, смешанный, реже глинистый и вулканогенно-осадочный. Коллекторы перекрываются слабо проницаемыми породами, служащими крышками либо экранами, образуя *природные резервуары*. Наглядным примером литолого-структурного контроля нефтеносных резервуаров могут служить месторождения нефти юга Западной Сибири.

Крышки и толщи пород, играющие роль экранов могут быть: по литологическому составу - глинистыми, соленосными, карбонатными, кремнистыми и др.; по масштабности - локальными, зональными и региональными. По своей морфологии нефтегазонасыщенные залежи подразделяются на три основных типа: антиклинальные, синклинальные и моноклинальные.

В качестве ловушек выделяют сводовые, выклинивающиеся, линзы седиментационные, выветривания и тектонической трещи новатости, флексурные изгибы, эрозионные и выклинивающиеся биогенные выступы.

Экранирование может происходить по тектоническому нарушению либо поверхности несогласия, либо осуществляться ядром диапира.

Среди различных типов резервуаров выделяются пластовые, массивные и литологически ограниченные. Вместительней резервуаров являются осадочные бассейны, число которых в мире достигает 600.

Нефтегазоносные осадочные бассейны слагаются наземными и морскими терригенными, карбонатными, эвапоритовыми, угленосными, реже флишевыми формациями и размещаются в различных геодинамических обстановках:

- на шельфах пассивных окраин континентов и окраинных морей;
- во внутриконтинентальных впадинах (авлакогенах, синеклизах и рифтогенных зонах);
- в межгорных и предгорных впадинах и краевых прогибах, расположенных в коллизионных зонах;
- в складчатых покровно-надвиговых поясах.

В аналогичных геодинамических обстановках и геологических формациях могут залегать месторождения угля, горючих сланцев, галита, калийных солей, фосфоритов, а также марганца, железа, бокситов, стратиформные залежи свинца, цинка, меди, сурьмы и ртути.

По фазовому составу (жидкие, газовые, твердые) выделяются следующие типы углеводородов: нефтяные, газовые, газонефтяные, нефтегазовые, газоконденсатные, нефтегазоконденсатные и твердые битумы. В этой природной цепи углеводородов (нафтидов) рассмотрим основные свойства главных из них - нефти, газа и твердых битумов.

*Нефть* - маслянистая жидкость, состоящая в основном из углеводородов метанового, нафтенового и ароматического рядов с примесью сернистых, незначительных по массе азотистых и кислородных соединений. Различают легкую и тяжелую нефть. Первая состоит в основном из легких фракций жидких углеводородов и газа, вторая - из тяжелых фракций, в растворе которых содержатся твердые битумы.

По плотности ( $\text{кг/м}^3$ ) легкие нефти менее 870, тяжелые более 910. Промежуточное положение 870-910 занимают переходные между ними разности - средние нефти.

По содержанию серы (%) выделяются нефти: малосернистые менее 0,5; сернистые 0,5-1,9; высокосернистые более 1,9.

По вязкости ( $\text{мПа} \cdot \text{с}$ ) различают нефти: маловязкие менее 5, средне вязкие 5-10, повышенной вязкости 10-30, высоковязкие более 30. Тяжелые нефти характеризуются высокими показателями содержания серы и вязкости. Теплота сгорания нефтей ( $\text{МДж/кг}$ ): легкой 47-44, тяжелой 43-42.

*Природные газы* встречаются в осадочных бассейнах в виде обособленных залежей или насыщают залежи нефти, или образуют над ними "газовую шапку".

Главным компонентом природного газа на большинстве месторождений является метан содержание которого может достигать почти до 100 %. Его гомологами являются этан, пропан, бутан при их содержании до 15-20 %. В метановом газе содержится азот (не более 5 %), кислые компоненты  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{CO}_2$  обычно ниже 0,5-1 % объемного состава газа.

Кроме чистометановых залежей выделяются углекислые, содержащие в значительных количествах сероводород и углекислый газ. В азотистых залежах сопутствующими полезными компонентами является гелий и аргон, средние содержание которых на самом крупном в США месторождении Панхендл-Хьюгтон составляет соответственно 5,2 %, азота 25 %. Растворенный в жидкой фазе газ увеличивает её объем и учитывается через объемный коэффициент пластовой нефти.

Теплота сгорания газа в среднем 38-40  $\text{МДж/кг}$ ; она зависит от вида углеводородов и состава других составляющих.

*Твердые битумы* включают гидраты метана или клатраты и семейство битумов (асфальтовые пески и битуминозные сланцы). Согласно А. Перродону, при температурах ниже 0 °C и давлении ниже 25 бар гидраты метана выпадают в осадок и кристаллизуются в виде гидрата или клатрата. С повышением давления повышается температура кристаллизации. С этими процессами связывают скопление гидратов метана и газа в Арктических осадочных бассейнах.

*Битумы* - это вязкие соединения, состоящие из тяжелых углеводородов и небольшого количества сернистых и азотистых соединений, а также смол, асфальтенов и

карбенов. В асфальтенах отмечаются концентрации ванадия и никеля. Вязкость битумов превышает  $10^4$  с Пз, плотности около 1.

Жидкие битумы содержат в основном нефть. Твердые битумы представлены воском, асфальтами и асфальтитами. Эти вещества входят в состав асфальтовых песков и битуминозных сланцев.

Битумы могут быть как природными, так и технологическими продуктами получаемыми при перегонке тяжелых сортов нефти

Нефтегазаносные залежи приурочены преимущественно к антиклинальным и куполовидным структурам. Часть из них локализована в сводовой части таких структур либо с ненарушенным строением, либо осложненных разрывными нарушениями, диапиризмом или вулканогенными образованиями. Другие залежи являются висячими, тектонически экранированными, блоковыми или приконтактовыми. Те и другие формируют месторождения в чехле платформ и в верхнем структурном ярусе складчатых областей. Их запасы обусловлены формой, площадью, мощностью, коллекторскими свойствами, нефтегазо-насыщенностью пластов. Извлекаемые запасы нефти и конденсата обычно составляют менее половины запасов в недрах.

Крупнейшие в мире месторождения нефти Большой Бурган (Кувейт), Гхавар (Саудовская Аравия) имели запасы соответственно 15 и 12 млрд. т. Нефтенасыщенными горизонтами являются: в первом месторождении -нижнемеловые песчаники, во втором - верхнеюрские доломитизированные известняки.

### **Месторождения твердых каустобиолитов (углеродного сырья)**

#### *Основные геолого-генетические факторы угле накопления*

На начальном этапе углеобразования, длившемся десятки тысяч лет, в биосфере происходила седиментация комплексных органических и минеральных веществ. Исходными органическими веществами были простейшие планктонные водоросли и наземно-болотная растительность. Накопление органической массы протекало в обводненной среде при ограниченном доступе свободного кислорода. При разложении водорослей на дне водоемов и смешении их с глинистыми частицами образуется гниlostный ил в виде студенистой массы, называемой *сапропелем*. С отмиранием наземно-болотной растительности связано образование торфа и накопление гумусовых веществ. Благоприятными условиями для торфообразования служат болота со стоячей, практически бескислородной водой.

Основными составными компонентами растительной массы являются целлюлоза и лигнин. При торфообразовании происходят их разложение и усвоение микроорганизмами. Этот процесс называется *гумификацией*. В начальной стадии он протекает в аэрируемой среде, а в дальнейшем, после погружения торфяника ниже уровня грунтовых вод, при участии анаэробных бактерий и с образованием из лигнинно-целлюлозных веществ гуминовых кислот. Таким образом, *торф* - это гумитовое горючее ископаемое, являющееся, как и сапропель, промежуточным образованием на пути к углю. На следующем этапе, продолжительностью многие миллионы лет, в литосфере в процессе диагенеза под действием физико-химических и геохимических факторов началась углефикация слаболитифицированных отложений с образованием бурого угля. При этом важную роль играли процессы гелификации, фюзенизации, битуминизации и элювиации. *Гелификация* - процесс превращения растительной и торфяной массы в коллоидальное вещество гель. *Фюзенизация* - увеличение количества углерода и почернение остатков лигнинно-целлюлозных тканей растений и продуктов гелификации в результате их окисления, с сохранением фрагментов изначального строения. *Битуминизация* - это процесс восстановительного преобразования на стадии эпигенеза сапропелевого органического вещества в углеводороды (битумы), богатые водородом. *Элювиация* - процессы привноса и выноса, приводящие к накоплению липоидных жироподобных и других компонентов.

Угленакопление происходили в ритмически сложенных терригенных и карбонатно-терригенных формациях. Соответственно выделяются два угленосных ряда - лимнический и параллический.

*Лимнический ряд* включает внутриконтинентальные месторождения углей озёрно-болотных фаций. К ним относятся Подмосковный, Канско-Ачинский и др. угленосные бассейны бурых углей.

Месторождения *параллического ряда* формировались преимущественно в палеозое в пребрежно-морских фациях. Они характеризуются большой мощностью и дислоцированностью и метаморфизму угленосных отложений с многочисленными маломощными пластами угля и значительной протяженностью; образуют угольные бассейны - Донецкий, Печорский, Карагандинский, Кузнецкий.

#### **Состав и свойства твердых горючих ископаемых**

Качество твердых горючих ископаемых характеризуется химическим и петрографическим составом, их физическими и технологическими свойствами. **Химический состав** устанавливается техническим и элементным анализами. При техническом анализе определяют: содержание влаги ( $W_n$ , %), зольность ( $A^d$ , %), составляющих негорючую (балластную) часть топлива; летучих веществ ( $V^{daf}$ , %), долю общей серы ( $S^d$ ) и спекаемость, определяемую толщиной пластического слоя ( $Y$ , мм) и характером коксового королька, выход смол ( $T^k$ ).

Влага может быть внешней, улетучивающейся при технологических процессах, и гигроскопической, удаляемой при нагревании угля до 150 °С. Зола - остаток минеральных веществ от сгорания топлива, обусловленный составом исходной растительной массы (конституционная зола), песчано-глинистого материала, механически привнесенного на этапе торфообразования (внешняя зола), а также составом прослоев пород в угольных пластах и разубоживающих вмещающих пород.

Зольность угля изменяется от первых процентов до 40-50 %. Более высокие ее значения отвечают составу углистых сланцев. Повышение зольности приводит к экономическим потерям. Снижение зольности в добытом угле достигается обогащением. Однако в самой золе иногда содержатся германий, уран и ванадий в промышленных значениях, а также в повышенных концентрациях другие ценные металлы.

Летучие вещества - это те, которые выделяются из горючей массы угля в газо- и парообразном состоянии при нагревании его без доступа воздуха до температуры 850 °С.

Кусковатый твердых продукт (остаток), получаемый после удаления летучих веществ, называется *коксовым корольком*. Он характеризует степень спекаемости угля. На средних стадиях углефикации угли спекаются, переходя при нагревании в пластическое состояние с образованием полукокса или кокса.

Сера входит в состав органических, сульфидных и сульфатных соединений. Содержание серы в малосернистых углях Кузбасса 0,5-1,0 %, высокосернистых кизеловских углях более 4 %.

Элементным анализом определяется количество (в %) углерода, водорода, кислорода, азота и органической серы. Содержания углерода и водорода обуславливают *теплотворную способность*: удельную теплоту сгорания по бомбе в пересчете на сухое беззольное состояние ( $Q^{daf}$ ) и низшую удельную теплоту сгорания в пересчете на рабочее топливо ( $Q^r$ ), в МДж/кг. Эти величины изменяются в больших пределах:  $Q^{daf}$  - 25-37 МДж/кг,  $Q^r$  - 8-29 МДж/кг.

С повышением степени углефикации нарастает содержание углерода.

В бурых углях углерода 60-75%, каменных- 76-91 %, антраците - до 97 % в расчете на органическую массу. Количество водорода и кислорода, напротив, убывает от бурых углей к антрацитам. Органическая сера присутствует в углях в ничтожных количествах. Концентрация вредной примеси фосфора в углях различных генетических типов изменяется от 0,01-0,02 % (Донбасс) до 0,1 % (Кузбасс).

**Петрографический состав** углей неоднороден и изучается макроскопически и под микроскопом. По текстурным признакам угли подразделяются на массивные и слоистые. По блеску и структуре слоистых или полосчатых углей в них различают четыре составные части (ингредиенты): витрен (блестящий), кларен (полублестящий), дюрен (полуматовый) и фюзен (матовый), по преобладанию в строении угольных пластов тех или иных ингредиентов угли получают соответствующие им названия.

**Микрокомпонентный состав** углей, изучаемый в основном под микроскопом, характеризуется содержанием органических микрокомпонентов и минеральных включений неорганического происхождения. Органические микрокомпоненты подразделяются на гелифицированные, фюзенизированные и липоидные.

**Физические свойства углей.** К ним относится цвет, блеск, твердость, хрупкость, излом, плотность, пористость, отдельности и кливаж, электропроводность. **Цвет** углей изменяется от бурого до черного. Блеск может быть смолистый (жирный), шелковистый, стеклянный, матовый. Твердость углей по шкале Мооса от 1 до 4.

Самыми хрупкими являются фюзеновые, наиболее стойкими - дюреновые угли. Излом у бурых углей землистый, сапропелевых - раковистый, каменных и антрацитов - зернистый. Плотность (рыхлость) углей возрастает от фюзеновых разновидностей к антрациту. Пористость сапропелевых углей изменяется от 13 до 16 %, а гумусовых - от 25 до 48 %.

При раскалывании кусочки угля образуют отдельности различной геометрической формы: пластинчатой, кубической, призматической, пирамидальной, конусовидной, шаровой, брекчиевидной. Трещины кливажа угля, возникшие в результате эндогенных и экзогенных тектонических процессов, параллельны и не совпадают с первичной слоистостью. Они влияют на технологию разработки.

Действительная плотность ( $d$ ) зависит от петрографического состава, минеральных примесей, влажности и степени углефикации. Она составляет (т/м<sup>3</sup>): бурые угли от 0,8 до 1,35, каменные - 1,30-1,45, антрациты - 1,4-1,9.

**Технологические свойства углей** определяют возможности их обогащения, брикетирования, коксования или полукоксования, получения из них жидкого топлива или их газификации. С этой целью отбирают большеобъемные технологические пробы для обработки их на промышленных установках.

#### ***Изменения углей в процессе метаморфизма и выветривания***

Как уже отмечалось, преобразование торфа в бурый уголь происходит в процессе диагенеза. Бурый уголь переходит в каменный в результате катагенеза (эпигенеза), когда под действием возрастающих геостатического давления до 80-90 МПа и температуры до 90-100 °С происходила литификация угленосных отложений и дальнейшая углефикация. Угли становятся черными, блестящими, более плотными. Длительное обогащение углеродом могло привести к возникновению тощих углей и антрацита. Переход в тощие угли происходит при температуре 150-180 °С. Антрацитизация совершается в процессе метаморфизма, при больших температуре (около 300 °С) и давлении, чем при катагенезе. В результате метаморфизма происходит уменьшение влаги и летучих, исчезновение свободных гуминовых кислот, изменение элементного состава и свойств углей в сторону антрацитов.

В угленосных толщах мог проявиться региональный, контактовый и дислокационный метаморфизм. Региональному метаморфизму, связанному с погружением обширных участков развития угольных пластов на значительные глубины в зоны повышенных температур, оказались подвержены складчатые образования Донбасса, Кузбасса и других угольных бассейнов. Наиболее метаморфизованы угли, залегающие в центральных, максимально опущенных частях прогибов, и практически не метаморфизованы по периферии бассейнов. В пределах каждого бассейна с глубиной наблюдается обеднение угля летучими веществами и обогащение углеродом. Так, в Донбассе на каждые 100 м стратиграфической глубины выход летучих веществ падает от 0,5 до 1,4%.

Контактовый метаморфизм проявился температурным воздействием на ископаемые угли интрузивов в период их становления. Непосредственно на контакте с изверженными породами уголь преобразуется в графит, далее 10 м от контакта - в антрацит и тощие угли.

Дислокационный метаморфизм углей, развивающийся при тектонических движениях, вызывающих значительное повышение давления и температуры, приводит к уменьшению в них влажности и содержания летучих.

Выветривание углей происходит в зоне аэрации до глубины 100 м от дневной поверхности. Далее на глубину процессы выветривания затухают и уголь сохраняет постоянный, близкий к исходному состав. Глубина выветривания зависит от положения зеркала грунтовых вод, рельефа, климата, условий залегания и строения угольных пластов. При выветривании изменяется физическое состояние угля, интенсивно протекают окислительные процессы.

Уголь в процессе выветривания теряет блеск, прочность и вместе с нею связность и целостность, превращаясь в мелкие куски, рыхло-подобное и даже порошкообразное состояние. При этом происходит резкое снижение мощности пласта, с приближением к дневной поверхности.

На выходах угольные пласты приобретают различную окраску, вызванную минеральными новообразованиями. С образованием гидроксидов железа связана буро-железистая окраска, железистые квасцы дают беловатую окраску. В Донбассе, например, при выветривании уголь покрывается белым налетом - продуктом разложения известняков кровли.

По мере химического выветривания угля увеличивается количество летучих компонентов, его влажность, зольность и, как следствие последнего, плотность: снижаются выход беззольного кокса, содержание водорода и углерода и, следовательно, теплотворная способность.

В результате выветривания углей, сопровождаемого окислительными процессами, может произойти их самонагрев до критической температуры самовозгорания 85-100 °С. Самовозгорание происходит чаще при хранении угля в штабелях. Самонагрев обусловлен физическим состоянием угольной массы и климатическим воздействием на нее и происходит, когда тепло не успевает отводиться. При разогревании углей понижается их теплотворная способность. Пожароопасными считают крутопадающие пласты мощностью более 3-5 м. Их самовозгорание может произойти при определенных неблагоприятных горнотехнических факторах.

#### *Генетическая классификация углей*

Генетическая классификация углей основана на исходном составе органического вещества, условиях его накопления и процессах превращения в различных фациях. По исходному углеобразующему материалу ископаемые угли объединяются в две основные группы: *гумулитов* и *сапропелитов*. Исходным материалом гумулитовых (гумусовых) углей послужили высшие растения (древесные и травяные), сапропелевых - низшие растения (водоросли и др.)- В гумулитовом классе выделяется несколько подклассов по микрокомпонентному и петрографическому составу ископаемых углей.

Гумулитовые угли имеют широкое распространение. Их гелитовые разности известны в разновозрастных угольных бассейнах стран СНГ: фюзенолитовые - в Кузбассе, Средней Азии (Ангрен, Шураб) и Тунгусском бассейне; липтобиолитовые (кутикуловые и споровые) - в Подмосковном, Кизеловском и Донецком бассейнах. Гумитосапропелитовые угли, содержащие водорослевые, гумусовые и липоидные вещества, слагают кеннели Львовско-Волынского, Подмосковного и Кизеловского бассейнов. Сапропелевые угли - богхеды встречаются в Иркутском и Подмосковном бассейнах.

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Какие признаки определяют стратиформность месторождений?
2. Как соотносятся в них сингенетические и эпигенетические руды?

3. В каких условиях формируются медистые песчаники и сланцы, стратиформные свинцово-цинковые, ртутные и сурьмяные месторождения?
4. Чем отличаются гидрослюдистый, глинистый и латеритный профили коры выветривания?
5. Какие выделяют морфологические типы коры выветривания?
6. При каком климате и рельефе формируются остаточные месторождения?
7. Что такое роллы и калькреты?
8. Как образуются зоны окисления и вторичного сульфидного обогащения?
9. Какова роль гравитационной и механической дифференциации в образовании россыпей?
10. Что такое "торфа", "пески" и "плотик" в разрезе аллювиальной россыпи?
11. Какие факторы влияют на образование россыпей?
12. Укажите россыпеобразующие формации, тип, размеры и минеральный состав россыпей алмазов, золота, ильменита и рутила.
13. Какова роль механической и химической дифференциации вещества в процессе осадконакопления?
14. В чем различие месторождений механических осадков и россыпей?
15. В каких условиях формируются месторождения гидрогенных осадков?
16. Какие полезные ископаемые связаны с биогенными месторождениями?
17. Что такое каустобиолиты и как они подразделяются?
18. Что обозначают понятия: сапропель, гумификация, гелификация?
19. Какими показателями характеризуется качество углей?
20. Что происходит в процессе метаморфизма?
21. Как изменяются свойства углей в процессе выветривания?
22. На чем основана генетическая классификация углей?

### **Полигенная серия — 2 ч.**

#### План лекции:

1. Стратиформные и колчеданные месторождения.
2. Геологические и физико-химические условия образования.
3. Формы рудных тел, минеральный состав, текстуры руд.
4. Основные рудные формации с примерами месторождений. Промышленное значение.
5. Вулканогенно-осадочные месторождения

Материал данного блока затрагивает дискуссионные вопросы относительно выделения эндогенно-экзогенной генетической группы месторождений и подразделения её на вулканогенно-осадочный и гидротермально-осадочный. Также пока не получила всеобщего признания концепция А.А. Ковалева об эксгальционно-осадочном происхождении ряда месторождений скарноидного типа олова, вольфрама и молибдена, а также полиметаллов, золота, серебра, сурьмы и ртути.

Геодинамические и структурно-формационные факторы размещения вулканогенно-осадочных и стратиформных месторождений в современном их понимании были рассмотрены в предыдущей части. Ниже приводятся их генетическая характеристика в редакции учебника автора.

#### **Гидротермально-осадочные (стратиформные) месторождения**

Стратиформные месторождения образуются в осадочных и вулканогенно-осадочных формациях, формирующих структуры напластования, обычно в отсутствии рудоносных магматических формаций пород. Такие месторождения, с одной стороны, наделены признаками, характерными для первично осадочных сингенетических месторождений, а с другой - известны факты, свидетельствующие об эпигенетическом гидротермальном образовании руд этих месторождений. Вопрос о природе гидротермальных растворов рассматривается также различно. Ф.И. Вольфсон и его сторонники полагают, что они связаны с интрузивными образованиями, не вскрытыми эрозией. Производные от таких растворов месторождения длительное время называли телетермальными, позднее их стали

рассматривать как низкотемпературные гидротермальные. Другие исследователи считают, что это минерализованные метеорные воды глубокой циркуляции. В этом случае месторождения по условиям образования были бы близки к инфильтрационным.

В.И. Смирнов, учитывая эти факты, развивал представления о полигенном и полихронном происхождении стратиформных месторождений. Он называл эти месторождения амагматогенными, подчеркивая тем самым отсутствие связи оруденения с магматизмом.

Стратиформные месторождения заключают в себе значительную долю мировых запасов меди, свинца, цинка, сурьмы и ртути.

#### **Условия образования**

Образование стратиформного разнотипного оруденения изначально было связано с осадконакоплением в прибрежно-морских, лагунных и дельтовых фациях и последующими процессами диагенеза, катагенеза и низкотемпературного метасоматоза. Процессы стратиформного рудного седиментогенеза наиболее активно проявились в зонах засушливого (аридного) климата, обусловившего осолонение литоральных осадков.

Под *диагенезом* понимается превращение осадка в осадочную породу. Дальнейшее уплотнение, частичное преобразование глинистого вещества и появление структур растворения обломочных зерен под давлением наступает при *катагенезе*. Метасоматические замещения в основном сульфидами металлов карбонатных и других образований протекали при температуре 200-50°C.

Источниками рудных компонентов, входящих в состав продуктивных залежей сингенетических с вмещающими осадочными толщами, могли служить участки размыва материнских пород с эндогенными проявлениями этих компонентов. Медь, цинк и свинец переносились в виде сульфатов и других соединений в растворах в морской бассейн, где происходило их осаждение. Эти и другие металлы также могли поступать в бассейн при подводных излияниях высокоминерализованных термальных вод. При этом в толщах ритмично переслаивающихся пород, в определенных стратиграфических и литологических горизонтах, формировались согласные, преимущественно пластовой формы рудные залежи.

Сингенетичные руды характеризуются простым минеральным составом, развитием глобулярных структур и слоистых текстур; согласные пластовые тела иногда переходят по простиранию в зоны рудных конкреций.

Эпигенетическое рудообразование, следовавшее после длительного развития сингенетических руд, явилось производным циркуляции подземных горячих минерализованных растворов и выразилось в возникновении секущих тел, иногда с полистадийной рудной минерализацией, развитием низкотемпературного гидротермального метасоматоза и околорудными изменениями пород: окварцеванием, серицитизацией, доломитизацией и каолинизацией. Для эпигенетических руд типичны колломорфные, реже прожилково-вкрапленные текстуры руд.

Для многих стратиформных месторождений, особенно медных, характерна многоярусность строения, обусловленная ритмичностью вмещающих толщ и рудной избирательностью пород определенного состава.

Стратиформные месторождения меди находятся в краевых прогибах, развитых в пределах платформ: докембрийских - Удоканское в Забайкалье, Нчанга и другие в Медном поясе Замбии и Заира, палеозойских - Джеккаганское в Казахстане, Мансфельд в Германии.

Стратиформные свинцово-цинковые месторождения, в основном палеозойского возраста, расположены в складчатых областях (Миргалымсайское и Ачисай, Восточный Казахстан; Сардана, Южная Якутия) и на активизированных платформах (долина р. Миссисипи в США).

Месторождение Миргалымсай приурочено к верхнедевонским и нижнекаменноугольным карбонатным формациям. Рудные тела мощностью от первых метров до 25 и более метров содержат свинца от 1,2 до 3 и более %. Рудные тела по простиранию достигают 2 км, по падению - 1 км.

Стратиформные месторождения сурьмы (Кадамжай в Киргизстане) и ртути (Хайдаркан, там же), залегающие в дислоцированных карбонатных толщах пород палеозоя, сформировались в складчатых зонах Северного Тянь-Шаня. Для этих месторождений характерно развитие пологоскладчатых структур, брахиантиклинальных сундучных и блокированных складок, осложненных надвигами и крутопадающими разломами. Рудные тела в форме согласных залежей, иногда секущих жил локализованы в шарнирных участках складок, пересекающихся рудоподводящими разломами. Они пространственно связаны с брекчированными окварцованными известняками, называемыми *джаспероидами*.

Стратиформные месторождения ртути, локализованные в терригенных отложениях, размещены на активизированных участках платформ. Примером служит месторождение Никитовское в Донбассе, сложенное песчаниками и сланцами каменноугольного возраста. Киноварная минерализация приурочена к горизонтам песчаников в купольных структурах.

#### ***Особенности морфологии тел, условий залегания и вещественного состава месторождений медных и свинцово-цинковых руд***

Наиболее отчетливо признаки стратиформного оруденения проявлены в месторождениях медной и свинцово-цинковой рудных формаций.

**М е д н а я** формация представлена месторождениями медистых песчаников и медистых сланцев. Для них характерна простая пластовая форма рудных тел, большая протяженность, неглубокое и пологое залегание, позволяющее вести отработку открытым способом, высокое содержание меди и равномерное ее распределение.

Общей особенностью месторождений медистых песчаников и сланцев является постепенный переход промышленных руд во вмещающие слабоминерализованные породы и почти одинаковый состав руд.

Главные минералы меди - халькозин, борнит и халькопирит; подчиненное значение имеют ковеллин, самородная медь и блеклые руды; попутные полезные компоненты представлены свинцом в галените и цинком в сфалерите; серебро и халькофильные редкие металлы находятся в виде изоморфных примесей в сульфидных минералах. В рудах месторождений Медного пояса Замбии и Заира в промышленных концентрациях содержатся кобальт и уран. Из жильных минералов преобладают кварц, кальцит и барит.

**С в и н ц о в о - ц и н к о в а я** рудная формация представлена месторождениями, залегающими в складчатых и платформенных карбонатных и терригенно-карбонатных толщах пород. Рудные тела образуют согласные пластовые и лентовидные залежи многоярусного строения, реже жило- и трубообразные тела. Главные минералы: рудные - сфалерит, галенит; жильные - кальцит, доломит, реже барит; второстепенные - халькопирит, борнит, жильные - кварц и флюорит.

Вулканогенно-осадочные месторождения. Геологические и физико-химические условия образования. Формы рудных тел, минеральный состав, текстуры руд. Основные рудные формации с примерами месторождений. Промышленное значение.

Крупные и уникальные месторождения. Геологические и физико-химические условия образования. Полистадийность и полихронность месторождений, их комплексность. Формы рудных тел, минеральный состав, текстуры руд. Основные рудные формации с примерами месторождений. Промышленное значение.

#### **Вулканогенно-осадочные месторождения**

Вулканогенно-осадочные месторождения ассоциируют с одноименными геологическими формациями пород. Для них характерны залегание в стратифицированных толщах пород морских глубоководных фаций, вулканический и экзогенный источники рудных веществ, В группу вулканогенно-осадочных образований включают месторождения железа, марганца, свинца и цинка. Они формируются преимущественно в морских прогибах и на платформах на большом удалении от берега.

Вулканогенно-осадочные железные руды известны в России (Таштагольское месторождение), Рейнских горах и Гарце (ФРГ). Это месторождения Ланн-Диль и Зауэрленд. Месторождение Ланн-Диль образовано Двумя мульдами, в которых пласты

гематитовых руд мощностью до 4 м залегают в сланцах на толще кератофир-диабазовых пород, служивших источником железа.

Таштагольское месторождение находится в Кемеровской области. Согласно В.М. Григорьеву [6], оно приурочено к складчатой, метаморфизованной эффузивно-осадочной толще среднего кембрия на контакте с интрузией сиенитов. Рудная зона разведана по простиранию на 7,5 км и глубину 1,7 км при средней мощности 40-140 м. Содержание железа в руде около 45 %; серы - 0,11; фосфора 0,1- Разведанные запасы руд 440 млн т.

Вулканоогенно-осадочные марганцевые месторождения связаны с вулканогенно-кремнистыми, карбонатными и железистыми породами. Они формировались в процессе подводных излияний гидротерм и представляют собой пластообразные залежи браунит-гаусманитовых руд (месторождение Западный Каражал в Казахстане).

Холоднинское колчеданно-полиметаллическое месторождение расположено в Северном Прибайкалье. Оно приурочено к приразломной палеодепрессии. Мощность терригенно-кремнисто-карбонатной формации составляет около 1 км; многоярусные пластовые залежи имеют протяженность более 5 км и мощность 10 м. Рудными минералами являются сфалерит, галенит, пирит и халькопирит. Содержание цинка от 3,5 до 6,5 %; свинца от 0,4 до 1,2 % [6].

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Какие признаки определяют стратиформность месторождений?
2. В каких условиях формируются медистые песчаники и сланцы, стратиформные свинцово-цинковые, ртутные и сурьмяные месторождения?
3. Какие выделяют морфологические типы коры выветривания?
4. Как образуются зоны окисления и вторичного сульфидного обогащения?
5. Какова роль гравитационной и механической дифференциации в образовании россыпей?
6. Какова роль механической и химической дифференциации вещества в процессе осадконакопления?

## **Тема** **Метаморфогенная группа месторождений**

### План лекции:

1. Условия образования и геологическое положение метаморфических и метаморфизованных месторождений
2. Морфология и вещественный состав железорудных, ураново-золоторудных, марганцеворудных и графитовых месторождений

Метаморфогенное рудообразование, начиная со второй половины XX в, вызывает возрастающий интерес как со стороны геологов, так и специалистов по технологии добычи и переработки полезных ископаемых. Это объясняется, главным образом, уникальностью метаморфогенных месторождений, например, железа, золота и урана, и адекватными гигантскими размерами горнодобывающих производств, позволяющими снижать качественные кондиционные параметры и соответственно вовлекать в отработку запасы руд, ранее считавшиеся непромышленными.

Метаморфогенные месторождения образовались в эндогенном режиме в абиссальной и ультраабиссальной зонах земной коры под действием высоких температуры и давления, а также минерализованных растворов. Согласно Я.К. Белевцеву, класс метаморфогенных месторождений подразделяется на три подкласса: метаморфизованные, метаморфические и ультраметаморфические. Метаморфизованные месторождения сформировались в результате метаморфической перекристаллизации исходных пород, обогащенных рудными компонентами, и полезных минеральных скоплений. Метаморфические месторождения связаны с перегруппировкой и новообразованиями минералов в горных породах, подвергшихся метаморфизму. К ультраметаморфическим месторождениям относятся редкометалльные граниты, редкометалльно-редкоземельные

иногда ураноносные альбититы, редкометалльные, мусковитовые, хрусталеносные и керамические пегматиты, месторождения золота, меди и ртути в березитах и лиственитах, рассмотренные нами в соответствующих генетических классах.

### ***Условия образования и геологическое положение метаморфических и метаморфизованных месторождений***

Метаморфогенные месторождения широко распространены на щитах и кристаллических основаниях древних платформ, сложенных метаморфическими формациями пород. Изначально, до регионально-метаморфических преобразований, эти формации представляли собой вулканогенные, вулканогенно-осадочные и осадочные толщи пород.

Процессы регионального метаморфизма, протекавшие в докембрии в течение более 3 млрд. лет, были обусловлены интенсивными, не имеющими себе равных в последующие геологические эпохи, проявлениями тепловых потоков Земли и вулканизма. Образование метаморфогенных месторождений происходило на всех докембрийских континентах при температурах от 100 до 850 °С. Поэтому фактору метаморфогенные месторождения делятся на три группы: фаций низких (от 100 до 450 °С); средних (450 - 650 °С) и высоких (600 - 850 °С) температур.

Фациям низких температур отвечают дозеленосланцевая и зелено-сланцевая фации, средних температур - эпидот-амфиболитовая подфация и высоких температур - амфиболитовая и гранулитовая фации.

Помимо высокой температуры и соответствующего глубине геостатического давления важную метаморфизирующую роль играли химически активные растворы и флюиды, состоявшие из воды, углекислоты, сероводорода, галогенов и комплексных ионно-молекулярных соединений. Растворы и флюиды находились в неравновесном с вмещающими породами физико-химическом состоянии, что обусловило их рудную минерализацию.

Метаморфизованные месторождения по составу исходных пород и первичных рудных образований объединяются в три группы: осадочные, вулканогенные и магматогенные.

Рудные вещества метаморфизованных месторождений первоначально длительно накапливались при вулканогенно-седиментационных процессах. Последующие растворение и перекристаллизация исходных пород привели к метаморфической дифференциации в них рудных минеральных компонентов. Это позволяет считать метаморфизованные месторождения полихронными и полигенными образованиями. Рудные тела этих месторождений представляют собой пластовые, иногда стратиформные залежи.

Все три группы метаморфизованных месторождений являются производными регионального метаморфизма. В группе осадочных метаморфизованных месторождений, кроме того, могут быть выделены месторождения, сформировавшиеся в результате контактового метаморфизма. Наибольшее практическое значение имеют регионально-метаморфизованные месторождения. Они образуются в зеленосланцевой, амфиболитовой и гранулитовой фациях.

*Месторождения зеленосланцевой фации* регионального метаморфизма связаны с зеленокаменными вулканогенными поясами и кварцит-конгломератовой формацией пород. Первые залегают в синклинальных зонах и объединяются в железисто-кремнистую и золото-кварцевую формации. Оруденение приурочено к складкам течения. Примером месторождений железисто-кремнистой формации служат месторождения КМА, Кривой Рог, Хамерсли (Австралия); месторождения золото-кварцевой формации известны в Восточной Сибири, Канаде (Поркьюпайн). Вторые - расположены в моноклинальных зонах расланцевания и объединяются в две рудоносные формации - золотоносных конгломератов (уникальное месторождение Витватерсранд в ЮАР, Тарква и Престеа в Гане) и ураноносных конгломератов (Блайнд-Ривер в Канаде).

*Метаморфизованные месторождения в амфиболитовой фации* представлены двумя рудными формациями: золото-сланцевой и железисто-кварцитовой. Золото-сланцевая связана с черносланцевой формацией и образует сложнодислоцированные зоны. К ней относятся месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь), Хоумстейк (США). Железисто-кварцевая формация ассоциирует с гранито-гнейсовой формацией. Ее месторождения (Костомукшское, Кольский п-ов, Джаннен-Лейк, Канада) залегают в куполах, блоках, выступах кристаллического фундамента. Оруденение приурочено к изоклинальным складкам, структурам будинажа.

*Метаморфизованные месторождения в гранулитовой фации* являются по форме залежей и условиям залегания стратиформными. Наиболее представительны месторождения свинцово-цинковой и золоторудной формаций, залегающие в зонах смятия, сложенных гнейсо-амфиболитами.

Для месторождений этих формаций характерно развитие рудоносных складок волочения и структур будинажа. Например, месторождения свинцово-цинковой формации - Горевское (бассейн реки Ангары) и Брокен-Хилл (Австралия), золоторудной формации - Советское (Восточная Сибирь) и Бендиго (Австралия).

Контактово-метаморфизованные месторождения рассмотрены в других генетических классах. Это скарново-магнетитовые руды месторождений Южной Якутии, Курейское графитовое месторождение, ванадиевое месторождение Минасрагра (Перу), некоторые месторождения корунда и наждака.

Метаморфические месторождения связаны с динамомета-морфической (дислокационной) и термометаморфической; группами метаморфических формаций. Они образовались в результате мобильной концентрации рассеянных рудных компонентов при метасоматических процессах или отложении в открытых полостях, а также выноса порообразующих веществ.

Дислокационный метаморфизм характеризовался ускоренным возрастанием давления по сравнению с температурой, развитием протяженных зон складчатости и разрывных дислокаций. Образование термометаморфической группы формаций связано с влиянием контактового метаморфизма и сопровождается более быстрым возрастанием температуры с глубиной, чем давления в условиях регионального метаморфизма. Вокруг гранитоидных интрузивов формируются концентрические зоны экзометаморфических формаций от гнейсов до филлитов.

В качестве самостоятельных метаморфических рудопродуктивных формаций, имеющих важное практическое значение, выделяются графитовая, абразивная и кианит-силлиманитовая. Месторождения графита амфиболитовой фации, залегающие в древних метаморфических формациях, известны на Украине, в Восточной Сибири, на Дальнем Востоке. Абразивная формация представлена месторождениями корунда и наждака (Прииртяшское, Россия; Сагамами, о. Мадагаскар), кианит-силлиманитовая формация объединяет месторождения высокоглиноземистого сырья (Кейвские, Карелия; о. Наксос, Греция).

Кроме указанных рудопродуктивных формаций широкое распространение имеют мраморы (Карелия, Урал, Средняя Азия), кварциты (Шокшинское, Карелия), яшмы (месторождение горы Полковник, Южный Урал; Кольванские, Алтай), кровельные сланцы (Ларское, Кавказ). *Мраморы* представляют собой перекристаллизованные в процессе метаморфизма известняки; *кварциты* - метаморфические преобразованные в песчаники; *яшма* - метаморфизованные вулканогенно-осадочные кремнистые породы; *кровельные сланцы* - динамометаморфизованные глинистые отложения.

#### ***Морфология и вещественный состав железорудных, ураново-золоторудных, марганцеворудных и графитовых месторождений***

Среди метаморфогенных рудных образований наибольшей промышленной значимостью характеризуются месторождения железистых кварцитов и их производные - месторождения богатых железных руд.

**Месторождения железистых кварцитов** образовались в докембрии в процессе метаморфизма (от фации зеленых сланцев до гранулитовой) хемогенных, хемогенно-терригенных и хемогенно-вулканогенных осадков. Они образуют крупные железорудные бассейны (КМА, Криворожско-Кременчугский), пояса (в Канаде - пояс Лабрадор), районы (Хамерсли в Австралии). В зеленосланцевой фации раннего протерозоя известны месторождения железистых кварцитов криворожского типа (КМА, Кривой Рог); в амфиболитовой, также раннепротерозойской, - Костамукшское и Оленегорекое (Кольский п-ов); в гранулитовой фации архея - Тараташское, Мариупольское.

Железистые кварциты слагают стратиформные сложно дислоцированные пласты мощностью от  $n \cdot 10$  до  $n \cdot 100$  м. Руды характеризуются линейнополосчатыми и плейчатými текстурами. Прослой преимущественно магнетит-гематитового состава чередуются с прослоями, состоящими в основном из кварца, хлорита и биотита. Они имеют различные структуры: магнетитовые - кристаллобластовую, гематитовые - лепидобластовую, кварцевые - роговиковую.

По соотношению мощности, составу прослоев, их текстурно-структурным особенностям выделяют три основных типа железистых кварцитов: 1) джеспилит-железисто-кремнистый, 2) железистый роговик, 3) таконит. Первый из них представляет собой тонкозернистое образование, состоящее из чередующихся тонких кварцевых и железистых слоев. Второй в отличие от джеспилита характеризуется более широкими чередующимися полосами и повышенным содержанием хлоритов, амфиболитов и других силикатов. Третий, таконит - сильно метаморфизованный полосчатый железистый микрокварцит. Содержание железа в этих типах кварцитов - 32-37 %.

**Метаморфизованные месторождения богатых железных руд** подразделяются на два морфологических типа: 1) плащеобразный, 2) линейный.

Первый тип представлен образованиями древней коры выветривания -пологими рудными залежами с резким угловым несогласием, залегающими на торцовой части крутопадающих пластов железистых кварцитов, известны в бассейне КМА. Такие залежи сложены мартитом, гематитом, гётитом, глинистыми минералами и карбонатами. Содержание железа высокое - 50-60%.

Второй тип приурочен к тектоническим зонам повышенной проницаемости инерализованных водных растворов и флюидов. Месторождения сформировались в процессе гидротермально-метаморфического преобразования железистых кварцитов. На этих месторождениях рудные тела имеют пласто-, линзо- и столбообразную форму и залегают в зонах дробления и синклинальных складках. Они сложены магнетитом и гематитом, амфиболами, кварцем, альбитом и карбонатами (месторождения Первомайское и Желтореченское в Северном Криворожье).

**Ураново-золоторудное оруденение** в докембрийских конгломератах является полигенным и полихронным образованием исключительно сложного генезиса, уникального по комплексному составу и размерами залежей, глубине их распространения. Месторождения таких руд известны в ЮАР, Канаде и Бразилии. Самым крупным в мире является месторождение Витватерсранд (ЮАР). Золоторудная толща месторождения сложена ритмично-переслаивающимися конгломератами, песчаниками, сланцами (рис. 3.36). Оруденение приурочено к цементу галечниковых конгломератов в виде тонкопрожилковой сульфидной минерализации. Среднее содержание золота от нескольких граммов до 20 г/т, концентрации  $U_3O_8$  в богатых рудах около 0,3 %.

**Метаморфогенные месторождения марганца** ассоциируют с железисто-кремнистой формацией. В России известны месторождения этой формации на Хингано-Буреинском поднятии, где они залегают в верхнепротерозойской дислоцированной толще осадочно-метаморфических пород. Рудная пачка мощностью 30-35 м в нижней части сложена преимущественно кремнистыми марганцевыми образованиями, в верхней - развиты железные руды. В состав руд входят браунит, гаусманит, гематит, магнетит и кремнистые образования.

Крупные метаморфогенные марганцевые месторождения, представленные гондитами, известны в Индии, Бразилии, Мали, Заире. *Гондиты* - продукты глубокого регионального метаморфизма марганецсодержащих песчано-глинистых пород. Их залежи имеют протяженность до 8 км, при мощности от 3 до 60 м, среднее содержание марганца 10-20 %, в браунитовых гондитах достигает 32-45 %• Гондиты состоят из спессартина, кварца, браунита, гаусманита, амфиболов и др. В коре выветривания гондитов силикаты марганца преобразуются в псиломелан, пиролюзит и другие гидроксиды: качество руд повышается. На месторождениях Мадхья-Прадеш (Индия) и Сьерра-ду-Навиу (Бразилия) практическое значение имеют как первичные гондиты, так и руды коры выветривания.

Метаморфогенные месторождения графита сформировались в процессе глубокого регионального метаморфизма осадочных пород с рассеянным органическим веществом (Завальевское, Украина) либо в результате контактового метаморфизма каменного угля или горючих сланцев (Курейское, Красноярский край).

## 7. ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ОЧНОГО И ЗАОЧНОГО ОБУЧЕНИЯ

**Практическая работа 1:** Описание представительных типов месторождений класс ликвационные месторождения. Тип сульфидно-медно-никелевые в основных и ультраосновных комплексах. Норильский рудный район (месторождение Норильск 1).

**Практическая работа 2:** Описание типов месторождений. Класс - раннемагматические месторождения. Тип – алмазоносные кемберлиты и лампроиты. Месторождение алмазов Западной Якутии. (Мало-Батуобинский, Далдыко-Алакитский, Верхнемунский, Олененский и Алданский).

**Практическая работа 3:** Описание типов месторождений. Класс-позднемагматические месторождения. Тип – хромитовые. Кемпирсайский хромитовый массив.

**Практическая работа 4:** Класс – карбонатитовые месторождения. Тип – перовскит-титаномагнетитовые, флюоритовые, редкометально-пироксеновые. Месторождения Ковдорского массива.

**Практическая работа 5:** Класс – пегматитовые месторождения. Тип – керамические, мусковитовые, редкометальные пегматиты, цветных камней, апатит-нефелиновые месторождения.

**Практическая работа 6:** Описание типов месторождений. кор выветривания. Характеристика вещественного состава руд. Текстурно-структурные особенности руд. Примеры типовых месторождений.

**Практическая работа 7:** Описание типов месторождений. осадочной группы. Характеристика вещественного состава руд. Текстурно-структурные особенности руд. Примеры типовых месторождений.

## 8. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ДЛЯ СТУДЕНТОВ ОЧНОГО (ДО) И ЗАОЧНОГО (ЗО) ОБУЧЕНИЯ

На самостоятельную работу по изучению геологических особенностей месторождений полезных ископаемых студентам выделяется 54 часа.

Основное внимание уделяется изучению геологического строения и промышленных параметров типовых месторождений полезных ископаемых по литературе и коллекционного материала образцов месторождений.

№ пп	№ раздела (темы) дисциплины	Форма (вид) самостоятельной работы	Трудоемкость в часах	
			ДО	ЗО
1	Вводная лекция. Общие	Самостоятельная работа:	6	10

	сведения о МПИ.	Работа с учебной литературой, справочниками; составление конспекта, зарисовка типичных эндогенных и экзогенных текстур руд		
2	Эндогенная серия: магматические флюидно-магматические месторождения.	Подготовка к тест-опросу. Работа с учебной литературой, справочниками по эндогенным месторождениям; Работа с коллекционными образцами месторождений, их описание	18	26
3	Экзогенная серия: инфильтрационные, осадочные месторождения.	Подготовка к тест-опросу. Работа с учебной литературой, справочниками по экзогенным месторождениям; Работа с коллекционными образцами месторождений, их описание	12	22
4	Метаморфогенная серия: понятия о метаморфизме, метаморфизованные и метаморфические месторождения.	Подготовка к тест-опросу. Работа с учебной литературой, справочниками по метаморфогенным месторождениям; Работа с коллекционными образцами месторождений, их описание	10	20
5	Полигенная серия: стратиформные и колчеданные месторождения; вулканогенно-осадочные месторождения	Подготовка к тест-опросу. Поиск в Интернет новых данных по изучаемым разделам по курсу ПИ Работа с коллекционными образцами месторождений, их описание	8	10
		<b>Итого за год</b>	<b>54</b>	<b>88</b>

## 9. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

№	Вид инновации	Перечень инноваций
1	Методы, применяемые в обучении (активные инновационные)	- Неигровые имитационные методы; - Игровые имитационные методы.
2	Технологии обучения	- Индивидуальные образовательные траектории; - Компетентностно-ориентированное обучение.
3	Информационные технологии	- Интерактивное обучение (моделирующие компьютерные программы, виртуальные учебные комплексы); - Мультимедийное обучение (презентации, электронные УМР, моделирование и симуляция процессов и объектов, мультимедийные курсы); - Сетевые компьютерные технологии (Интернет, локальная сеть, Цифровой Кампус).
4	Информационные системы	- Электронная библиотека; - Электронные базы учебно-методических ресурсов; - Электронный научно-образовательный комплекс полигонов учебных практик.
5	Инновационные методы контроля	- Электронный учет и контроль учебных достижений студентов (электронный журнал

	успеваемости и посещаемости, электронный ведомости); - Компьютерное тестирование (диагностическое, промежуточное, итоговое, срезное); - Анкетирование студентов и преподавателей Рейтинг ППС; - Балльно-рейтинговая система оценки результатов.
--	---

Для закрепления знаний студентов по отдельным разделам курса «Основы учения о полезных ископаемых» проводятся практические занятия, целью которых является формирование первых навыков самостоятельной работы с каменным геологическим материалом и геологическими картами. Для практических занятий обязательным является изучение магматических, осадочных и метаморфических горных пород, знакомство с геологическими картами.

### 9.1. Рейтинговая оценка по дисциплине

Усвоение учебной дисциплины максимально оценивается в 100 рейтинговых баллов, которые распределяются по видам занятий в зависимости от их значимости и трудоемкости. По результатам текущей работы по дисциплине в течении семестра студент может набрать не более 70 баллов. На итоговый контроль отводится 30 баллов. Посещаемость занятий учитывается поправочным коэффициентом, равным отношению количества часов посещенных занятий к плановым.

#### Распределение баллов по видам учебных работ

№ п/п	Наименование работ	Распределение баллов
1.	Теоретический материал: 3 опр. х 10	30 баллов
2.	Практические работы: 5 опр. х 8	40 баллов
3.	Посещаемость (попр. коэф. К п. 1-2)	—
4.	Экзамен	30 баллов
	Итого	100

#### Перевод баллов на пятибалльную систему

Отлично	85-100
Хорошо	71-84
Удовлетворительно	60-70
Неудовлетворительно	Менее 60

Примечание. При набранной общей суммы баллов менее 40 по результатам третьей аттестации студент не допускается к итоговой аттестации по дисциплине.

### 10. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Для текущей и промежуточной аттестации студентов в семестре выполняются письменные контрольные работы по основным разделам (модулям) дисциплины. Контроль знаний студентов включает в себя текущий и итоговый контроль.

Текущий контроль проводится на каждом практическом занятии в течении 10 минут. Предусматривает цели: 1) научить студента систематической работе по изучаемой дисциплине; 2) определить уровень усвоения студентом теоретического материала; 3)

готовность студента к восприятию последующей темы дисциплины и выполнению лабораторной (практической) работы. Данный вид контроля призван стимулировать работу студентов в семестре и следить за овладением студентами материала.

Итоговый контроль предусматривает экзамен в конце VI семестра. Экзамен сдают студенты, выполнившие все практические работы, предусмотренные программой.

### **10.1. Примерный перечень вопросов к экзамену**

1. Ликвационные месторождения.
2. Какие факторы положены в основу генетической классификации?
3. Как изменяется с глубиной форма и состав пегматитовых тел?
4. Как образуются зоны окисления и вторичного сульфидного обогащения?
5. Раннемагматические месторождения.
6. Перечислите главные рудообразующие и породообразующие минералы раннемагматических месторождений.
7. Объясните понятие "скарн". Чем отличаются известковые скарны от магнезиальных? Что такое автоскарны?
8. На чем основана генетическая классификация углей?
9. Позднемагматические месторождения.
10. Перечислите главные рудообразующие и породообразующие минералы карбонатитовых месторождений.
11. Что представляют собой кимберлиты?
12. Перечислите генетические классы месторождений.
13. Карбонатитовые месторождения.
14. Какие месторождения называются полигенными, полихронными, регенерированными?
15. Что такое "торфа", "пески" и "плотик" в разрезе аллювиальной россыпи?
16. Охарактеризуйте особенности рудных тел пегматитовых месторождений.
17. Пегматитовые месторождения.
18. Охарактеризуйте особенности рудных тел карбонатитовых месторождений.
19. Чем отличаются пегматиты от вмещающих их материнских пород?
20. В чем различие понятий "шток" и "штокверк"?
21. Скарновые месторождения.
22. Охарактеризуйте особенности рудных тел ликвационных месторождений.
23. С какими магматическими породами ассоциируются пегматитовые месторождения?
24. Что такое роллы и калькреты?
25. Альбититовые месторождения.
26. Какие факторы влияют на образование россыпей?
27. Какова роль складчатых и разрывных структур в рудообразовании?
28. Что такое "альбититы" и "грейзены"?
29. Грейзеновые месторождения.
30. Охарактеризуйте трещины отрыва и скола?
31. С какими интрузивными массивами связаны карбонатиты?
32. На какие три подтипа делится каждый тип пегматитов.
33. Гидротермальные месторождения.
34. Перечислите главные рудообразующие и породообразующие минералы ликвационных месторождений.
35. Какими методами определяют температуру минералообразования?
36. Что такое каустобиолиты и на что они подразделяются?
37. Месторождения выветривания.

38. К каким породам приурочены наиболее богатые хромитовые руды?
39. Как изменяется с глубиной форма и состав пегматитовых тел?
40. На чем основана генетическая классификация углей?
41. Осадочные месторождения.
42. Перечислите районы распределения кимберлитовых трубок на территории Западной Якутии.
43. Чем отличаются гидрослюдистый, глинистый и латеритный профили коры выветривания?
44. Что обозначают понятия: сапропель, гумификация, гелификация?
45. Россыпные месторождения. Типы россыпей.
46. Перечислите главные рудообразующие и породообразующие минералы позднемагматических месторождений.
47. Какие осадочные комплексы пород включают карбонатитовые месторождения?
48. Какие полезные ископаемые связаны с биогенными месторождениями?

## 10.2. Пример тестовых задания

- 1. Что развивается по трещинам скола?**
  - рудные тела
  - тектонические нарушения
  - дайки
- 2. В результате какой деформации возникают различные виды кливажа?**
  - при эксплозиях
  - при разрывных деформациях
  - при формировании складок
- 3. В каких условиях формируются блокированные складки?**
  - в зонах трещиноватости и брекчирования
  - при свободном скольжении пластов относительно друг друга
  - при ограниченном скольжении пластов относительно друг друга
- 4. Какие структурные факторы наиболее благоприятны для локализации полезных ископаемых?**
  - складчатые структуры
  - разрывные структуры
  - совокупность складчатых и разрывных структур
- 5. Какие формы тел полезных ископаемых считаются линейными?**
  - плитообразные
  - куполовидные
  - трубообразные
  - штокообразные
  - линзообразные
- 6. Для каких тел характерны угол ныряния?**
  - плоских
  - объемных
  - линейных
- 7. В чем отличие рудного штокверка от рудного штока?**
  - форма и рельеф
  - внутреннее строение
  - условия залегания

**8. Какую геохимическую группу составляют элементы, характерные для оксидных (кислородных) соединений?**

- халькофильную
- сидерофильную
- литофильную

**9. Укажите типоморфную текстуру руд гидротермального генетического типа**

- крустификационная
- нодулярная
- слоистая
- сланцевая

**10.3. Примерные темы контрольных работ для студентов заочного обучения**

1. Вещественный состав полезных ископаемых, текстуры и структуры руд.
2. Ликвационные месторождения.
3. Раннемагматические месторождения.
4. Позднемагматические месторождения.
5. Карбонатитовые месторождения.
6. Пегматитовые месторождения.
7. Скарновые месторождения.
8. Альбититовые месторождения.
9. Грейзеновые месторождения.
10. Гидротермальные месторождения.
11. Месторождения выветривания.
12. Осадочные месторождения.
13. Особенности осадочных месторождений и предпосылки их образования. Типы осадочных месторождений.
14. Механогенные месторождения и россыпи.
15. Россыпные месторождения. Типы россыпей.
16. Предпосылки образования россыпей.
17. Аллювиальные россыпи.
18. Проллювиальные россыпи.
19. Прибрежно-морские россыпи.
20. Представления о механизмах образования россыпей.
21. Хемогенные осадочные месторождения. .
22. Особенности осадочных месторождений, образованных из истинных растворов.
23. Представления об образовании солей. ....
24. Месторождения, образованные из коллоидных растворов.
25. Общие черты месторождений.
26. Представления о рудообразовании. ....
27. Биохимические месторождения.
28. Месторождения фосфоритов.
29. Осадочные месторождения горючих полезных ископаемых.
30. Седиментационно-диагенетические концентрации металлов в черных сланцах.
31. Месторождения карбонатных и кремнистых пород.
32. Общие черты эпигенетических месторождений.
33. Месторождения, связанные с грунтовыми водами.
34. Месторождения в артезианских бассейнах.
35. Инфильтрационные месторождения.
36. Эксфильтрационные месторождения. ....

37. Метаморфизованные и метаморфогенные месторождения.
38. Особенности крупных месторождений.....
39. Техногенные месторождения.
40. Геологические структуры месторождений полезных ископаемых.

#### 10.4 Основные критерии оценки знаний студентов

Оценка	Полнота, системность, прочность знаний	Обобщенность знаний
отлично	Изложение полученных знаний в устной, письменной или графической форме, полное, в системе, в соответствии с требованиями учебной программы; допускаются единичные несущественные ошибки, самостоятельно исправляемые студентами	Выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявление причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений; свободное оперирование известными фактами и сведениями с использованием сведений из других предметов
хорошо	Изложение полученных знаний в устной, письменной и графической форме, полное, в системе, в соответствии с требованиями учебной программы; допускаются отдельные несущественные ошибки, исправляемые студентами после указания преподавателя на них	Выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявлений причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений, в которых могут быть отдельные несущественные ошибки; подтверждение изученного известными фактами и сведениями
удовлетворительно	Изложение полученных знаний неполное, однако это не препятствует усвоению последующего программного материала; допускаются отдельные существенные ошибки, исправленные с помощью преподавателя	Затруднения при выполнении существенных признаков изученного, при выявлении причинно-следственных связей и формулировке выводов
неудовлетворительно	Изложение учебного материала неполное, бессистемное, что препятствует усвоению последующей учебной информации; существенные ошибки, не исправляемые даже с помощью преподавателя	Бессистемное выделение случайных признаков изученного; неумение производить простейшие операции анализа и синтеза; делать обобщения, выводы

### 11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) «Основы учения о полезных ископаемых»

#### Основная литература:

1. Еремин, Н.И. Неметаллические полезные ископаемые : учеб. пособие : рек. мин. обр. РФ/ Н.И. Еремин. 2-е изд., испр. и доп.. – М.: Изд-во Моск. гос. ун-та: Академкнига, 2007. - 461 с.: а-рис.
2. Короновский, Н.В. Геология для горного дела : учеб. пособие : рек. УМО/ Н.В. Короновский, В.И. Старостин, В.В. Авдонин. – М.: Академия, 2007. - 576 с.: а-рис.
3. Старостин, В.И. Геология полезных ископаемых: учебник для вузов./ В.И. Старостин, П.А. Игнатов. - М.: Академический Проект, 2004. - 512 с.

### Дополнительная:

1. Вахромеев, С.А. Месторождения полезных ископаемых, их классификация и условия образования / С.А.Вахромеев; под ред. Е.Е. Захарова, Ф.И. Вольфсона. – М.: Госгеологтехиздат, 1961. – 464 с.
2. Горная энциклопедия. – М.: ДиректМедиа Пабблишинг, 2006. -10= Эл.опт. диск (CD-ROM):b-карты
3. Милютин, А.Г. Геология. - Учебник для вузов. / А.Г. Милютин. - М.: Высшая школа, 2003.
4. Панкратьев, П.В. Основы учения о полезных ископаемых: Методические указания к лабораторному практикуму по магматическим и флюидно-магматическим месторождениям./ П.В. Панкратьев, А.С. Чаплыгина, И.С. Чаплыгина. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. – 64 с.
5. Основы учения о полезных ископаемых : учеб.-метод. комплекс для спец. 130301/ сост. С.М. Авраменко. – Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2010. -95 с.
6. Смирнов, В.И. Геология полезных ископаемых: учебник для вузов./ В.И. Смирнов. - М.: Недра, 1989. - 326 с.

### Периодические издания:

1. Геология рудных месторождений
2. Записки российского минералогического общества
3. Литология и полезные ископаемые
4. Руды и металлы

### Программное обеспечение и интернет-ресурсы

№	Наименование ресурса	Краткая характеристика
1.	<a href="http://www.iqlib.ru">http://www.iqlib.ru</a>	Интернет-библиотека образовательных изданий, в которой собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам иотрослям знания.
2.	Электронная библиотечная система «Университетская библиотека -online» <a href="http://www.biblioclub.ru">www.biblioclub.ru</a>	ЭБС по тематике охватывает всю область гуманитарных знаний и предназначена для использования в процессе обучения в высшей школе, как студентами преподавателями, так и специалистами гуманитариями.

## 12. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Дисциплина	Обеспечение	Адрес	Форма собственности	свидетельство
Основы учения о полезных ископаемых	<b>Музей исторической геологии, и типовая лекционная аудитория</b> Оснащение: ПЭВМ, мультимедиа - проектор, экран, акустическая система, ноутбук, учебные коллекции горных пород, научная библиотека.	Игнатьевское шоссе, 21 Корпус 8, каб 106, 108, 410	Оперативное управление	Свидетельство №

## СОДРЖАНИЕ

I. Рабочая программа .....	3
1. Цели и задачи дисциплины освоения дисциплины.....	3
2. Место дисциплины в структуре ООП ВПО .....	3
3. Требования к уровню освоения дисциплины.....	3
4. Структура и содержание дисциплины.....	4
5. Содержание разделов и тем дисциплины.. ..	5
6. Краткое изложение программного материала.....	7
7. Примерный перечень практических работ для студентов очного и заочного обучения.....	71
8. Самостоятельная работа для студентов очного и заочного обучения.....	71
9. Образовательные технологии.....	72
10. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов .....	73
10.1. Примерный перечень вопросов к экзамену .....	74
10.2. Примерные тестовые задания.....	75
10.3. Примерные темы контрольных работ для студентов заочного обучения.....	76
10.4. Основные критерии оценки знаний студентов.....	77
11. Учебно-методическое и информационное обеспечения дисциплины (модуля)....	77
12. Материально-техническое обеспечения дисциплины. ....	78