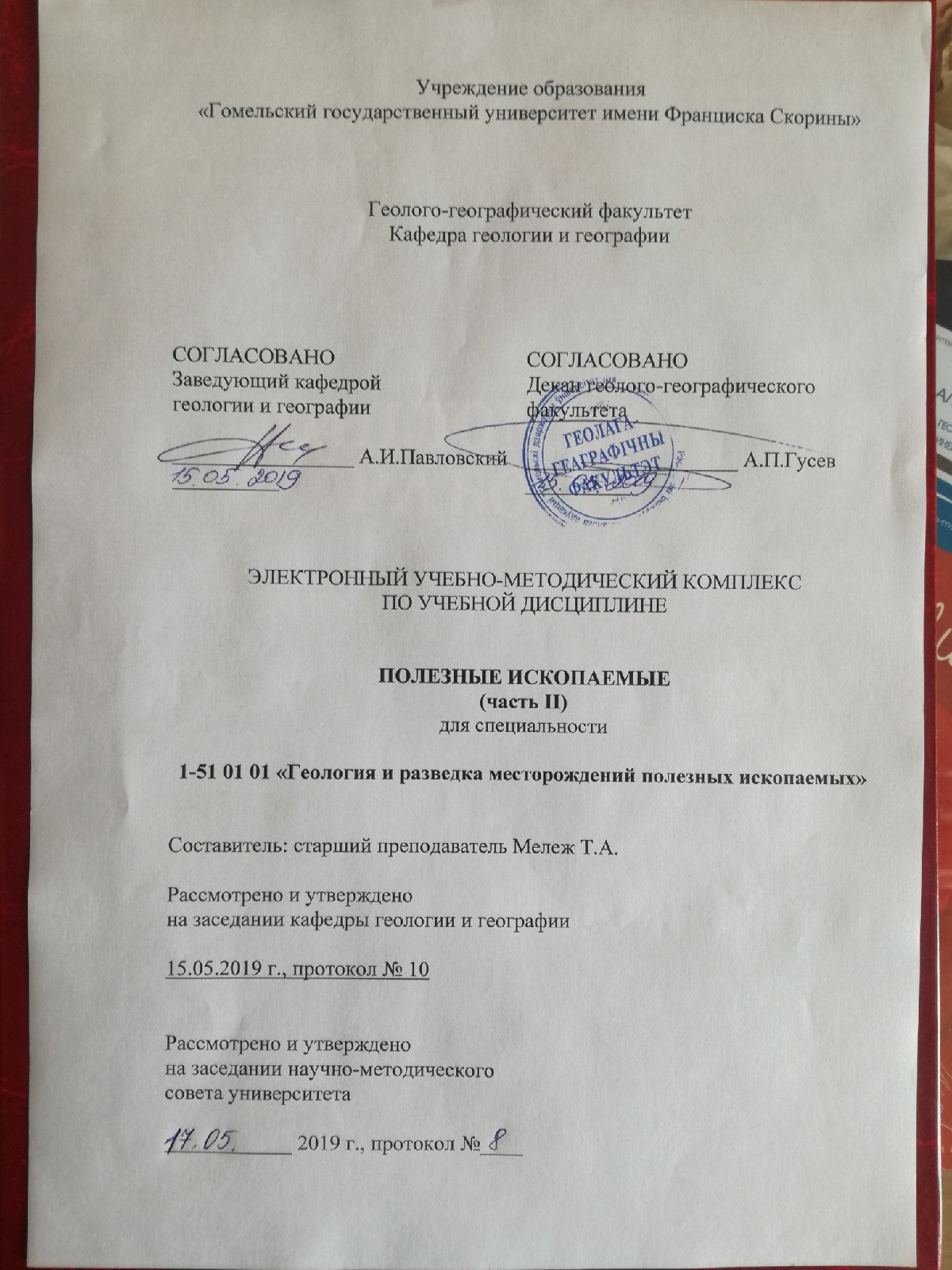
****

**СОДЕРЖАНИЕ**

|  |  |
| --- | --- |
| Пояснительная записка……………………………………………………. | 3 |
| 1 Содержание учебного материала……………………...………………... | 5 |
| 2 Информационно-методическая часть…………………………………... | 11 |
| 3 Тексты лекций……………………………………………………………. | 12 |
| 4 Практические работы…………………………………………………… | 219 |
| 5 Контрольные и тестовые задания………………………………………. | 310 |
| 6 Вопросы к экзамену по дисциплине «Полезные ископаемые»……….. | 313 |
| 7 Литература………………………………………………………………... | 317 |

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

«Полезные ископаемые» – дисциплина компонента учреждения высшего образования необходима для изучения студентами геологических специальностей, так как она является основой для получения фундаментальных знаний о месторождениях полезных ископаемых, в том числе знаний о генезисе, геологии и экономике рудных и нерудных месторождений.

Актуальность ЭУМК «Полезные ископаемые» заключается в том, что сфера профессиональной деятельности специалиста-геолога формируется на основе фундаментальных знаний о месторождениях полезных ископаемых, в том числе знаний о генезисе месторождений полезных ископаемых.

Целью ЭУМК «Полезные ископаемые» является усвоение студентами основных закономерностей формирования и размещения в пространстве и времени месторождений полезных ископаемых.

**Задачи ЭУМК:**

* ознакомление студентов с методическими основами учения о полезных ископаемых, c условиями образования различных типов месторождений полезных ископаемых в земной коре, с классификациями по генетическим и промышленным критериям;
* усвоение основ морфологии рудных тел, вещественного состава и структурно-текстурных особенностей руд, стадий и этапов рудообразования;
* анализ взаимосвязи тектоники, магматизма и рудообразования, условий формирования эндогенных, экзогенных и метаморфогенных месторождений;
* формирование умений и навыков комплексного парагенетического анализа минералов, горных пород их ассоциаций для прогнозной оценки площадей.

В результате изучения ЭУМК:

**студент должен знать:**

* закономерности геологического строения основных промышленных типов месторождений полезных ископаемых;
* комплексные методы моделирования геологической структуры месторождений на основе всестороннего анализа геологической информации;
* важнейшие особенности геологического строения крупных регионов Земли и общие, закономерности размещения в их пределах месторождений полезных ископаемых;
* типы месторождений металлических, неметаллических, горючих полезных ископаемых и основные геохимические процессы, приводящие к их образованию в недрах и на поверхности Земли.

**студент должен уметь:**

* определять руды и вмещающие породы по коллекционным образцам;
* строить описательно-графические модели важнейших месторождений;
* выделять полезные ископаемые по комплексу геофизических методов исследования скважин;
* изучать месторождения полезных ископаемых по картам, планам, разрезам;

**студент должен владеть:**

* давать геологическую характеристику важнейших бассейнов полезных ископаемых;
* изучать в аншлифах и шлифах под микроскопом руды полезных ископаемых;

**студент должен владеть:**

* геофизическими методами исследования скважин;
* методами определения полезных ископаемых по коллекционным образцам

Материал дисциплины компонента учреждения высшего образования «Полезные ископаемые» базируется на ранее полученных студентами знаниях по таким учебным дисциплинам, как «Структурная геология», «Минералогия», «Литология», «Петрография», «Геотектоника».

Общее количество часов за 4 курс 7 семестр – 156; аудиторное количество часов – 70 (зачетные единицы – 4), из них: лекции – 28, управляемая самостоятельная работа – 14, практические занятия – 28. Форма отчетности – экзамен.

Общее количество часов за 4 курс 8 семестр – 200; аудиторное количество часов – 96 (зачетные единицы – 5), из них: лекции – 46, управляемая самостоятельная работа – 24, практические занятия – 26. Форма отчетности – экзамен.

**1 СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА**

**Раздел 5 Химическое и агрономическое сырье**

**Тема 5.1 Минеральные соли**

Общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Современные месторождения солей. Ископаемые месторождения солей. Месторождения рассолов и соляных источников. Галогенные формации. Месторождения Беларуси.

**Тема 5.2 Фосфатное сырье**

Апатиты и фосфориты. Общие сведения. Применение в промышленности. Месторождения апатитовой формации. Месторождения апатит-нефелиновой формации. Месторождения апатит-магнетитовой формации. Карбонатитовые месторождения апатита. Осадочные морские биохимические месторождения фосфорита. Осадочные механические месторождения фосфорита. Осадочные континентальные биохимические месторождения фосфорита. Месторождения выветривания фосфатсодержащих пород. Месторождения Беларуси.

**Тема 5.3 Серное сырье**

Сера. Общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Вулканогенно-гидротермальные месторождения. Экзогенные месторождения. Месторождения серосодержащего сырья.

**Тема 5.4 Борное сырье**

Бор. Общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Скарновые месторождения. Эксгаляционные месторождения. Вулканогенно-осадочные месторождения. Химические осадочные месторождения. Остаточные и инфильтрационные месторождения.

**Раздел 6 Индустриальное сырье**

**Тема 6.1 Асбест. Графит. Слюды**

Асбест. Общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Месторождения ультрамафитового типа. Месторождения карбонатного типа. Графит. Общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Магматические месторождения. Пегматитовые месторождения. Контактово-метасоматические месторождения. Пневматолитово-гидротермальные месторождения. Метаморфогенные месторождения. Месторождения выветривания.

Слюды. Общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Мусковитоносные пегматитовые месторождения. Флогопитоносные карбонатитовые месторождения. Флогопитоносные метаморфогенные месторождения.

**Тема 6.2 Барит и витерит**

Барит. Общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Географическое положение месторождений. Описание месторождений. Витерит. Общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Географическое положение месторождений. Описание месторождений.

**Тема 6.3 Магнезит и брусит**

Магнезит. Общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Гидротемальные месторождения кристаллического магнезита. Инфильтрационные месторождения аморфного магнезита. Осадочные континентально-озерные месторождения пелитоморфного магнезита. Брусит. Общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Контактово-метаморфические месторождения брусититов и бруситовых мраморов.

**Раздел 7 Индустриально-камнесамоцветное сырье**

**Тема 7.1 Алмазы**

Общие сведения. Ювелирные алмазы. Технические алмазы. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Раннемагматические месторождения. Обломочные месторождения кор выветривания. Механические осадочные месторождения. Алмазоносность территории Беларуси.

**Тема 7.2 Камнесамоцветное сырье**

Общие сведения. Важнейшие свойства. Классификация камнесамоцветов. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Магматические месторождения. Пегматитовые месторождения. Карбонатитовые месторождения. Контактово-метасоматические месторождения. Гидротермальные месторождения. Метаморфогенные месторождения. Месторождения выветривания. Осадочные месторождения.

**Тема 7.3 Пьезооптическое сырье**

Горный хрусталь. Общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Пегматитовые месторождения. Гидротермально-метаморфические месторождения. Метаморфизованные месторождения гранулированного кварца. Россыпные месторождения.

Флюорит. Общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Пегматитовые месторождения оптического флюорита. Карбонатитовые флюорит-редкоземельные месторождения. Гидротермальные месторождения. Вулканогенно-гидротемальные месторождения.

Исландский шпат. Общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Месторождения в вулканогенных породах трапповой формации.

**Раздел 8Строительные материалы и сырье для их производства**

**Тема 8.1 Керамическое сырье**

Непластичное керамическое сырье. Полевые шпаты, высокоглиноземные минералы, волластонит. Общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Месторождения полевошпатового и нефелинового сырья, форфоровых камней. Месторождения волластонита и высокоглиноземных камней.

Пластичное керамическое сырье. Глины и каолины. Общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Вулканогенно-гидротермальные метасоматические месторождения. Вулканогенно-осадочные месторождения. Месторождения кор выветривания. Обломочные месторождения. Инфильтрационные месторождения. Осадочные месторождения. Метаморфизованные месторождения. Месторождения Беларуси.

**Тема 8.2 Обломочные породы**

Песок и гравий. Общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Осадочные месторождения. Месторождения Беларуси.

**Тема 8.3 Карбонатные породы**

Известняк, мел, доломит, мергель и их разновидности. Общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Осадочные месторождения. Месторождения выветривания. Карбонатитовые месторождения. Гидротермальные месторождения. Метаморфические месторождения. Месторождения Беларуси.

**Тема 8.4 Соляные породы**

Гипс и ангидрит. Общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Осадочные месторождения. Остаточные и инфильтрационные месторождения. Месторождения Беларуси.

**Тема 8.5 Активные минеральные добавки**

Диатомит, трепел, опоки, пуццоланы и трассы. Общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Вулканогенные месторождения. Осадочные биохимические месторождения.

**Тема 8.6 Естественные строительные материалы**

Общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Магматические месторождения. Осадочные месторождения. Метаморфогенные месторождения. Месторождения и рудопроявления Беларуси.

**Раздел 9 Черные металлы**

**Тема 9.1 Железо и марганец**

Железо. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения. Генетические типы промышленных месторождений железа: магматические, карбонатитовые, скарновые, вулканогенные гидротермальные, вулканогенно-осадочные, кор выветривания, осадочные, метаморфогенные. Марганец. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения. Генетические типы промышленных месторождений марганца: осадочные, вулканогенно-осадочные, кор выветривания, метаморфогенные. Месторождения и рудопроявления Беларуси.

**Тема 9.2 Хром, титан и ванадий**

Хром. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения. Генетические типы промышленных месторождений хрома: раннемагматические, позднемагматические, россыпные. Титан. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения. Генетические типы промышленных месторождений титана: магматические, кор выветривания, россыпные, вулканогенно-осадочные, метаморфогенные. Ванадий. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения. Генетические типы промышленных месторождений ванадия: магматические, выветривания, россыпные, осадочные, метаморфогенные. Месторождения и рудопроявления Беларуси.

**Раздел 10 Легкие металлы**

**Тема 10.1 Алюминий и магний**

Алюминий. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения. Генетические типы промышленных месторождений алюминия: выветривания, осадочные. Магний. Общие сведения. Добыча магния из доломита, магнезита, морской воды и рассолов. Месторождения и рудопроявления Беларуси.

**Тема 10.2 Литий и бериллий**

Литий. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения. Генетические типы промышленных месторождений лития: пегматитовые, минеральные воды. Бериллий. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения. Генетические типы промышленных месторождений бериллия: пегматитовые, полевошпатовых метасоматитов, грейзеновые, плутоногенные гидротермальные, вулканогенные гидротермальные. Месторождения и рудопроявления Беларуси.

**Раздел 11 Цветные металлы**

**Тема 11.1 Свинец и цинк**

Свинец и цинк. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения. Генетические типы промышленных месторождений свинца и цинка: скарновые, плутогенные гидротермальные, вулканогенные гидротермальные, колчеданные, стратиформные, метаморфизованные. Месторождения и рудопроявления Беларуси.

**Тема 11.2 Сурьма, медь и никель**

Сурьма. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения. Генетические типы промышленных месторождений сурьмы: плутогенные гидротермальные, вулканогенные гидротермальные, стратиформные.

Медь. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения. Генетические типы промышленных месторождений меди: магматические, карбонатитовые, скарновые, плутогенные гидротермальные, вулканогенные гидротермальные, колчеданные и стратиформные.

Никель. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения. Генетические типы промышленных месторождений никеля: магматические, плутогенные гидротермальные, коры выветривания. Месторождения и рудопроявления Беларуси.

**Раздел 12 Редкие и малые металлы**

**Тема 12.1 Олово, вольфрам и молибден**

Олово. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения. Генетические типы промышленных месторождений олова: пегматитовые, грейзеновые, скарновые, плутогенные гидротермальные, вулканогенные гидротермальные, россыпные.

Вольфрам. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения. Генетические типы промышленных месторождений вольфрама: скарновые, грейзеновые, плутогенные гидротермальные, вулканогенные гидротермальные, россыпные, отложения горячих минеральных источников, рассолы.

Молибден. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения. Генетические типы промышленных месторождений молибдена: скарновые, грейзеновые, плутогенные гидротермальные, вулканогенные гидротермальные. Месторождения и рудопроявления Беларуси.

**Тема 12.2 Висмут, кобальт и ртуть**

Висмут. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения. Генетические типы промышленных месторождений висмута: грейзеновые, скарновые, плутогенные гидротермальные, вулканогенные гидротермальные.

Кобальт. Общие сведения. Генетические типы промышленных месторождений кобальта: магматические, скарновые, плутогенные гидротермальные, стратиформные, выветривания.

Ртуть. Общие сведения. Генетические типы промышленных месторождений ртути: плутогенные гидротермальные, вулканогенные гидротермальные, стратиформные. Месторождения и рудопроявления Беларуси.

**Тема 12.3 Цирконий и цезий, ниобий и тантал**

Цирконий и цезий. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения. Генетические типы промышленных месторождений циркония и цезия.

Ниобий и тантал. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения. Генетические типы промышленных месторождений ниобия и тантала. Месторождения и рудопроявления Беларуси.

**Тема 12.4 Благородные металлы**

Золото. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения. Генетические типы промышленных месторождений золота: скарновые, плутогенные гидротермальные, вулканогенные гидротермальные, метаморфогенные, россыпные.

Серебро. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения. Генетические типы промышленных месторождений серебра: серебросодержащие, собственно серебряные.

Платиноиды. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения. Генетические типы промышленных месторождений комплексных платиносодержащих руд: ликвационные, раннемагматические, позднемагматические, россыпные. Месторождения и рудопроявления Беларуси.

**Тема 12.5 Радиоактивные элементы**

Уран. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения. Генетические типы промышленных месторождений урана: альбититовые, плутоногенные гидротермальные, вулканогенные гидротермальные, осадочные, инфильтрационные, метаморфогенные.

Торий. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения. Генетические типы промышленных месторождений тория. Месторождения и рудопроявления Беларуси.

**Тема 12.6 Рассеянные элементы**

Скандий, германий, рений, таллий, галлий, кадмий, индий, селен, теллур, рубидий и гафний. Геохимия, минералогия и металлогения месторождений рассеянных элементов. Промышленная добыча и использование рассеянных элементов.

**Тема 12.7 Редкоземельные элементы и иттрий**

Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения месторождений редкоземельных элементов. Генетические типы промышленных месторождений редкоземельных элементов: магматические, полевошпатовых метасоматитов, скарновые, карбонатитовые, гидротермальные плутогенные, россыпные, осадочные. Использование редкоземельных элементов.

**2 ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

***Примерный перечень практических занятий***

1. Минеральные соли

2. Фосфатное сырье

3. Алмазы

4. Камнесамоцветное сырье

5. Естественные строительные материалы

6. Железо и марганец

7. Литий и бериллий

8. Свинец и цинк

9. Олово, вольфрам и молибден

10. Благородные металлы

11. Радиоактивные элементы

12. Рассеянные элементы

13. Редкоземельные элементы

***Рекомендуемые формы контроля знаний***

1. Тестовые задания

**ЛЕКЦИИ**

**Раздел 5 Химическое и агрономическое сырье**

**5.1** **Минеральные соли**

1. Общие сведения

2. Генетические типы промышленных месторождений

3. Месторождения Беларуси

**1. Общие сведения**

**Каменная соль.** Среди неметаллических полезных ископаемых значительную роль играет группа природных минеральных солей, в составе которой наиболее распространенной является каменная соль – осадочная порода химического происхождения, сложенная в основном галитом (до 99%).

***Галит (NaCl)*** кристаллизуется в кубической сингонии, форма кристаллов кубическая, реже октаэдрическая и столбчатая. В плотных массах зерна галита обычно обладают неправильными ограничениями и имеют размеры (от долей до нескольких сантиметров). Твердость его 2, удельная масса 2,3 г/см3. Галит является постоянным компонентом всех соляных пород, образующихся в процессе галогенеза начиная с галитовой стадии и кончая эвтоникой. В трещинах и мелких пустотах несоляных пород он образует прожилки с волокнистым строением. Чистый галит прозрачен и бесцветен, обладает стеклянным блеском. Примеси окрашивают его в различные цвета – серый, желтый, розовый, красный и др.

*Применение в промышленности.* Около 60–65 % мировой добычи каменной соли используется в пищевой промышленности для разнообразных пищевых целей (засолка рыбы, мяса, растительных продуктов и т. д.). Человек потребляет в год 7–8 кг поваренной соли. Вплоть до ХVII в.в бедных солью странах она ценилась дороже золота. «Об абиссинской горной соли упомянем, – писал в 1763 гг. М. В. Ломоносов, – которая там вместо денег употребляется, так что за три или пять брусков, сделанных наподобие кирпича, холопа купить можно».

Каменная соль находит широкое применение в химической промышленности, где служит исходным материалом для всех соединений, в состав которых входят натрий или хлор. Она перерабатывается на соду, путем электролиза из нее получают газообразный хлор и затем соляную кислоту. Применяется также в лакокрасочной промышленности, кожевенном, мыловаренном производстве и др. Используется также в коммунальном хозяйстве.

**2. Генетические типы промышленных месторождений**

*Геолого-промышленные типы месторождений.* Все промышленные месторождения минеральных солей относятся к химическим, образовавшимся из истинных растворов. Среди них выделяют: 1) ископаемые или древние; 2) современные месторождения. Неисчерпаемым резервом солей следует также рассматривать морскую воду. Ископаемые месторождения солей образовались в прошлые геологические эпохи и, как правило, погребены под толщей молодых отложений. Они представлены как твердыми солями (галит), так и рассолами. Основные формы залегания соляных тел: пласты, линзы, купола, штоки. В районах интенсивного проявления соляного тектогенеза вершины соляных куполов нередко выходят на земную поверхность (месторождения каменной соли в Северной Африке, в Закарпатье и др.).

Месторождения подземных соляных вод и рассолов образуются в результате растворения ископаемых залежной каменной соли подземными водами. По условиям залегания они могут быть пластовыми, трещинными и трещинно-карстовыми, по химическому составу – чаще всего хлориднонатриевыми.

Современные соляные месторождения представляют собой разнообразные соляные озера или лиманы с концентрацией солей в воде более 3,5 % и наличием в донных отложениях залежей каменной соли.

*Условия образования.* Промышленные месторождения каменной соли (ископаемые залежи) образовались из морской воды в процессе ее испарения в полуизолированных бассейнах (лагуны, заливы и т. д.) и в усыхающих реликтовых озерах. Процесс образования солей называется галогенезом. Еще в 1855 г. в вышедшем учебнике «Физическая и химическая геология»   
Г. Бишоф, развивая идеи М. В. Ломоносова, утверждал, что образование солей могло осуществляться только в водоемах на поверхности Земли в аридной зоне, где в результате испарения сначала выпадали менее, а затем более растворимые соли. Теория галогенеза в дальнейшем наиболее полное развитие получила в трудах советских геологов (В.И. Николаева,   
П.И. Преображенского, Н.М. Страха, М.Г. Валяшко и др.)

*Глобальные закономерности распространения*. Соленосные отложения, с которыми связаны залежи ископаемых солей, имеют исключительно широкое распространение на древних платформах и зонах сочленения их со складчатыми областями. Особенно широко они развиты в Северной Америке и Евразии. Стратиграфически соленосные отложения связаны с отложениями всех геологических систем. Максимумами соленакопления выделяются кембрий, пермь, триас, юра и неоген.

*Геология месторождений каменной соли.* В мире крупнейшие месторождения каменной соли сосредеточены в США, Китае, Германии и в странах Северной Африки (Марокко, Алжир, Тунис). Странами-лидерами по добыче и производству поваренной соли являются Китай и США. В СНГ по запасам и добыче этого вида минерального сырья лидирующие позиции занимает Украина.

*Минералогия и геохимия.* Калий – один из весьма распространенных элементов в земной коре. Кларк калия – 2,6 вес.%. Различают три большие группы калийсодержащих минералов: 1) алюмосиликатная; 2) сульфатная; 3) галогенная. Наибольшее практическое значение представляют минералы сульфатной и галогенной групп.

*Галогенная группа* калийных минералов выделяется по присутствию галогенных элементов – хлора или фтора. Среди них бывают чисто калийно-хлоридные, например, минерал сильвин (*KCl*), либо в них присутствуют также магний или кальций, реже железо, марганец и медь. В залежах калийных солей наряду с сильвином широко распространен калийно-магниево-хлоридный минерал – карналлит (*KCl*×*MgCl2*×*6H2O*). В составе галогенной группы имеются смешанные минералы: хлоридно-сульфатный калийный минерал – каинит (*KCl*×*MgSO4*×*3H2O*) и хлоридно-сульфатно-содовый минерал – ганксит (*KCl*×*2Na2CO3 .*×*9Na2SО4*).

*Сульфатная группа* калийных минералов характеризуется присутствием сульфат-иона (SO42-). Среди них различают легко растворимые в воде минералы: калийно-натриево-сульфатные – глазерит (*3K2SO4×Na2SO4*); калийно-магниево-сульфатные – лангбейнит (*K2SO4×2MgSO4*), леонит (*K2SO4×MgSO4×4H2O*), шенит (*K2SO4×MgSO4×6H2O*); калийно-кальциево-сульфатные – сингенит (*K2SO4×CaSO4×H2O*) и гергеит (*K2SO4×5CaSO4×H2O*). К малорастворимым относится калийно-магниево-кальциево-сульфатный минерал полигалит (*K2SO4×CaSO4×MgSO4×2H2O*).

*Применение в промышленности.* Основным потребителем калийных и калийно-магниевых солей является туковая промышленность: свыше 90 % их добычи идет на производство различных удобрений и лишь 10 % в химическую промышленность. Производятся калийные удобрения с содержанием хлористого калия от 25–40 до 80–95 %. Вырабатываются и сложные калийсодержащие удобрения: «нитрофоска», содержащая азот, фосфор и калий, «потазот», представляющий смесь хлористого калия и хлористого аммония и др. На мировой рынок поступают также сульфатно-магневые калийные удобрения, важнейшим компонентом которых является *К2SO4.*

Химическая промышленность выпускает свыше 30 различных веществ, в которых основной составляющей является калий. Главнейшие из них: каустический калий, хлористый калий, поташ (углекислый калий), сернокислый калий, калиевая селитра, бертолетовая соль, цианистый калий, бромистый калий, йодистый калий и др. Соединения калия находят применение в фармацевтической, лакокрасочной, стекольной, кожевенной и шерстяной промышленности, а также в медицине, пиротехнике, электрометаллургии и т. д.

Металлический магний, извлекаемый из карналлита, применяется в составе различных сплавов, используемых в авиационной, автомобильной, металлургической и других отраслях промышленности.

В настоящее время лидирующее положение по добыче калийных солей и производству калийных удобрений занимают Канада, Германия, Беларусь и Россия, обеспечивающие около 70 % мирового производства.

*Исходные данные для оценки месторождений калийных солей.* Экономическую эффективность разработки месторождений определяют следующие горно-геологические параметры: 1) запасы калийных руд; 2) содержание хлористого калия в руде; 3) содержание глинистой примеси (нерастворимого в воде остатка – *Н2О*.); 4) устойчивость вмещающих пород; 5) глубина залегания продуктивных пластов; 6) мощность продуктивных пластов; 7) условия залегания и особенности строения соленосной толщи.

*По запасам* полезного ископаемого калийные месторождения разделяются на весьма крупные (с разведанными запасами К2О более 1000 млн т), крупные (300–1000 млн т) и мелкие (менее 100 млн т).

*Содержание полезного компонента* в промышленных рудах хлоридного типа разных месторождений варьирует от 11 % *К2О* (Германия) до 25–27 % (Саскачеванское месторождение в Канаде). Для сульфатных и хлоридно-сульфатных солей характерны значительно более низкие содержания полезного компонента – 8–13 % *К2О* (нижний предел свойственен для полигалитовых руд Жилянского месторождения, верхний – для каинитовых руд на о. Сицилия). Сульфатные и хлоридно-сульфатные руды Предкарпатья содержат в среднем 9–10 % *К2О.*

*Вредными примесями* в калийных солях являются *MgCl2* и *Н2О*. При содержании в рудах *MgCl2*более 1,5 % и *Н2О* свыше 3 % в технологические схемы обогащения калийных солей вводятся дополнительные операции по освобождению сырья от указанных компонентов. Руды с наиболее высоким содержанием *Н2О* (до 20 %) эксплуатируются на Эльзасском месторождении во Франции. В СНГ добывают руды с содержанием *Н2О* 1,6–7,2 %.

*Геолого-промышленные типы месторождений.* Калийные месторождения по составу солей подразделяют на три типа – хлоридный (бессульфатный), сульфатно-хлоридный и сульфатный. Наиболее широко распространены месторождения хлоридного типа (Старобинское, Верхнекамское, Саскачеванское, Эльзасское, Непское и др.). Это, как правило, весьма крупные и крупные месторождения. Месторождения сульфатного типа имеются в Предкарпатском прогибе (Калуш-Голынское, Стебникское), на о. Сицилия и др. Состав руд этих месторождений преимущественно каинитовый, по масштабам запасов они мелкие, редко – средние.

В зависимости от сложности геологического строения калийные месторождения также подразделяют на три группы. К первой группе относят месторождения, представленные пластовыми залежами протяженностью в десятки километров, выдержанные по мощности и качеству солей (Верхнекамское месторождение в Пермской области, Старобинское в Беларуси и др.).

Во вторую группу включены месторождения, состоящие из чередующихся линзообразных залежей солей различного состава, характеризующихся изменчивой мощностью и сравнительно выдержанным качеством солей в пределах отдельных линз (Стебникское, Калуш-Голынское месторождения Украины, месторождения миоценового возраста Румынии и о. Сицилия).

К третьей группе отнесены месторождения, приуроченные к солянокупольным структурам и представленные залежами с резко изменчивой морфологией и исключительно не выдержанным распределением полезных компонентов и вредных примесей (Индерское и Эльтонское месторождения в Прикаспийской впадине).

*Условия образования.* Калийные породы сульфатной и галогенной групп образуются осадочным путем в основном из морских вод или их дериватов. Они формировались в солеродных бассейнах при интенсивном проявлении испарительных процессов. Калийные минералы начинали кристаллизоваться при концентрации солей в водах 33–34 % и более.

Калий, который участвует в составе соляных минералов сульфатной и галогенной групп, прошел большой и сложный путь. Сначала он был вынесен из недр Земли с магматическими алюмосиликатными породами, затем при их выветривании и разложении в зоне гипергенеза либо сразу поступил в воды морей, либо с поверхностными водами в растворенном состоянии был привнесен в океаны.

Калийные минералы сульфатной ветви осаждались из морских вод, а хлоридной (сильвин и карналлит) – из метаморфизованных вод, для которых характерна потеря сульфат-иона и эквивалентного ему количества иона магния. Метаморфизация – труднообратимый процесс, который осуществлялся в результате поступления бикарбоната кальция, привноса ветром и континентальными водами глинистого материала, бактериальной сульфатредукции, разгрузки подземных вод хлоркальциевого состава и др.

*Основные закономерности распространения.* Калийные соли крайне неравномерно распространены в различных регионах земного шара. В Европе расположены крупные калиеносные бассейны: Припятский, Верхнекамский, Верхнепечорский, Днепровско-Донецкий, Прикаспийский, Среднеевропейский, Каталонский, Предкарпатсткий, Сицилийский. Крупные бассейны имеются в Северной Америке: Эльк-Пойнт и Фанди (оба в Канаде), Пермский бассейн и Парадокс в США. В Южной Америке известны два бассейна – Сержипи-Алагоас и Амазонский (оба в Бразилии), в Африке – три (Габонско-Конголезский, Северо-Африканский и Данакильский), в Азии – пять (Восточно-Сибирский, Среднеазиатский, Корат, Сакон Након и бассейн Соляной кряж).

*Стратиграфически* основные объемы калийных солей связаны с соленосными формациями, образовавшимися в кембрии, девоне и перми. Выделяется шестнадцать этапов калиенакопления: 1) вендский, 2) раннекембрийский, 3) позднесилурийский, 4) среднедевонский, 5) позднедевонский, 6) раннекаменноугольный, 7) среднекаменноугольный, 8) раннепермский, 9) позднепермский, 10) позднетриасовый, 11) позднеюрский, 12) раннемеловой, 13) позднемеловой, 14) эоцен-олигоценовый, 15) миоценовый, 16) плиоцен-четвертичный.

*Геотектоническая позиция* калиеносных бассейнов достаточно разнообразна: палеозойские связаны в основном с платформенными рифтовыми зонами, краевыми прогибами; мезозойские – с континентальными рифтовыми зонами, отрицательными структурами, заложенными на эпипалеозойских платформах, реже с краевыми прогибами; кайнозойские – преимущественно с межгорными впадинами, краевыми прогибами и рифтовыми зонами континентов.

*Ресурсы и запасы.* Мировые прогнозные ресурсы калийных солей оцениваются в 250 млрд т. Большая часть их сосредоточена в России, Канаде, Беларуси, США и Германии. Общие запасы калийных солей в мире оцениваются примерно в 40 млрд т, подтвержденные – в 8,4 млрд т. Основными странами-держателями как общих, так и подтвержденных запасов являются Россия, Канада, Беларусь и Германия.

*Геология месторождений калийных солей.* Крупнейшими в мире месторождениями калийных и калийно-магниевых солей являются Саскачеванское (Канада) и Верхнекамское (Россия).

*Саскачеванское месторождение* расположено в бассейне Эльк Пойнт, который находится в западной части Канады, прослеживаясь частично на территории США. В тектоническом отношении он приурочен к западному склону Североамериканской платформы. Калиеносными являются отложения среднего девона – формация Прери Эвапорайт. Мощность этой формации колеблется от 15 до 220 м. В верхней части разреза формации Прери Эвапорайт выделяются три калийных горизонта (снизу вверх): Эстерхази, Белл Плейн и Пейшенс Лейк. Мощность их варьирует от нескольких метров до 24,5 м. Калийные соли представлены сильвином и карналлитом. Эти минералы встречаются как раздельно, так и в тесной ассоциации друг с другом, образуя совместно с галитом породы смешанного состава. Калийные породы по внешнему виду бледно-окрашенные (светло-оранжевые, бледно-розовые, бесцветные, местами пестроцветные за счет синего галита), характеризуются низким содержанием *Н2О* (1–3 %) и высоким содержанием полезного компонента (*К2О* более 18 %). По оценке канадских геологов общие запасы калийных солей составляют 16–50 млрд т.

*Верхнекамское месторождение* расположено в Соликамской впадине, представляющей одну из отрицательных структур в системе Предуральского прогиба. Калиеносные отложения распространены на площади около   
3,5 тыс. км2. Они относятся к бессульфатному типу и представлены сильвинитом и карналлитовой породой. В калиеносной части разреза выделяются сильвинитовая и сильвинит-карналлитовая зоны.

Сильвинитовая зона (средняя мощность 21 м) представлена калийными пластами (сверху вниз): А, Кр. I, Kp. II и Кр III. Все калийные слои, за исключением А, представлены красными слоистыми сильвинитами со слоями и прослоями каменной соли. В пласте полосчатого сильвинита А преобладают бледные и розовые разновидности сильвинита.

Сильвинит-карналлитовая зона мощностью 30–45 м расчленяется на две пачки: нижнюю карналлитовую (пласты от Б до Е) и верхнюю карналлит-галитовую (пласты (Ж–К). Калийные соли этой зоны на одних участках представлены карналлитовой породой, на других – пестрым сильвинитом.

Внутренняя тектоника сильвинитной зоны относительно сложная: калийные пласты образуют складки с линейно-слоистой текстурой в синклиналях и сложно-складчатым строением в ядрах антиклиналей. Геологические запасы месторождения огромны и оцениваются по карналлитовой породе в 96,4 млрд т, по сильвинитам – 113,2 млрд т, по каменной соли – 4 650 млрд т. Разрабатываются два крупных участка – Березниковский (на юге месторождения) и Соликамский (на севере). В настоящее время функционируют шесть рудников (СПКРУ-1 – СПКРУ-3, БПКРУ-1, БПКРУ-2 и БПКРУ-4).

**3. Месторождения Беларуси**

Разведаны три месторождения каменной соли: Давыдовское, Мозырское и Старобинское. *Давыдовское месторождение* открыто в 1941 г. Утвержденные запасы каменной соли составляют по категориям:   
А – 267,6 млн т, В – 324,9 млн т и С1 – 20087,6 млн т. Запасы этого месторождения относятся к неактивным, т. е. имеющим минимальную вероятность быть востребованными в обозримой перспективе.

*Мозырское месторождение* приурочено к субширотной антиклинальной структуре, вытянутой на 10 км. Соленосный разрез представлен сильно дислоцированными отложениями галитовой подтолщи (D32fm). Запасы каменной соли этого месторождения составляют 588,9 млн т по категории С1. Месторождение эксплуатируется методом подземного растворения через скважины с земной поверхности ступенями снизу-вверх. Предельная глубина отработки – 1500 м, ежегодное производство пищевой поваренной соли «Экстра» составляет 180 – 355 тыс т.

При разведке калийных солей *Старобинского месторождения* было выделено и изучено 6 пластов каменной соли мощностью 4–28 м, залегающих в интервале глубин 631,5–844,0 м. В настоящее время на шахтном поле 1 рудоуправления РУП ПО «Беларуськалий» разрабатывается пласт – 305 м, залегающий ниже II калийного горизонта. Каменная соль соответствует 1–2-му пищевым сортам. Ежегодные объемы производства каменной соли (пищевая, кормовая и техническая) составляют 300–550 тыс. т.

*Месторождения калийных солей Беларуси.* В настоящее время в Припятском прогибе разведаны три месторождения: Старобинское, Петриковское и Октябрьское. Наиболее крупным их них является Старобинское, открытое в 1949 г. На месторождении известны четыре калийных горизонта, из которых два – второй (II) и третий (III) – отрабатываются четырьмя рудоуправлениями РУП ПО «Беларуськалий».

Основным объектом эксплуатации является нижний сильвинитовый пласт III горизонта, залегающий на глубине 450–1000 м и более. Мощность продуктивного пласта 4–5,5 м. В его разрезе выделяются до шести сильвинитовых слоев, сложенных слоистыми микромелкозернистыми красноцветными сильвинитами с прослоями каменной соли и тонкими (от долей миллиметра до нескольких сантиметров) прослоями галопелитов. Выемке подлежат 2, 3 и 4-й сильвинитовые слои мощностью 0,60–1,53 м. Среднее содержание КСl составляет 29,4 (слой 4) – 45,2 % (слой 2).

Второй калийный горизонт распространен на меньшей площади и залегает на глубине 360–700 м. Мощность его – 1,3–2,8 м. Разрез горизонта состоит из двух сильвинитовых слоев, разделенных слоем каменной соли. Мощности сильвинитовых слоев примерно одинаковые (0,50–0,90 м). Содержание КСl в сильвинитовых слоях в среднем составляет (%): 1 РУ – 41,34 % (1-й слой) и 35,61 (2-й слой); 2 РУ – 40,43 и 36,74; 3 РУ – 37,81 и 33, 69; 4 РУ – 37,03 и 34,90. На четырех шахтных полях балансовые запасы сырых калийных солей составляют по категориям А+В+С1 2,7 млрд т и по категории С2 – 0,57 млрд т. В 2002 г. начато строительство нового Краснослободского рудника, который будет разрабатывать калийные руды Краснослободского участка.

**5.2** **Фосфатное сырье**

1. Общие сведения и применение в промышленности

2. Месторождения Беларуси

**1. Общие сведения и применение в промышленности**

***Фосфор*** – один из важнейших химических элементов Вселенной. Он входит в число 20 наиболее распространенных элементов Солнечной системы и занимает по своей распространенности 11 место среди элементов земной коры. Элементарный фосфор существует в виде нескольких модификаций, главные из них – белая, красная и черная.

Среднее содержание пентоксида фосфора (*Р2О5*) в земной коре составляет 0,25 %. Наиболее высокие концентрации *Р2О5*характерны для магматических щелочных (0,6–1,0 %) и основных (0,4 %) пород. Содержание *Р2О5* в осадочных породах варьирует от 0,04 до 0,17 %.

Известно более 200 фосфорсодержащих минералов. Однако свыше 95 % фосфора в земной коре связано в виде безводного фосфата кальция – аппатита *Са5[PO4]3*×*(F, Cl, OH),* встречающегося в магматических породах в качестве акцессорного минерала. Кристаллическая решетка апатита весьма благоприятна для внедрения различных ионов, замещающих *Са2+, РО43-, ОН–* или *F–*. Этим обусловливается разнообразие состава минералов группы апатита и их разновидностей. Апатиты магматических и метаморфических пород представлены большей частью фторгидроксильными разновидностями. Апатиты осадочного происхождения, входящие в состав фосфоритов или целиком слагающие их, обычно содержат в своем составе *СО3* – ион. Их принято называть карбонатапатитами. Наиболее широко распространены фторсодержащие карбонатапатиты (карбонатфторапати-ты), среди них иногда различают франколиты (с низким содержанием *СО2*) и курскиты (с высоким его содержанием, до 5–6 %).

*Применение в промышленности.* Практическое значение имеют два главных вида фосфатов – апатиты и фосфориты. Из-за более легкой обогатимости апатитовые руды являются более ценным сырьем, чем фосфоритовые. Однако в мировом балансе добываемого сырья основная роль принадлежит фосфоритовым рудам (около 80 %).

Области использования апатитовых и фосфоритовых руд одинаковые. Около 90 % фосфатного сырья применяется для производства фосфатных и комбинированных минеральных удобрений: суперфосфата, двойного суперфосфата, преципитата, аммофоса, нитрофоса, термофосфатов, фосмуки и др. В значительно меньших количествах апатит и фосфориты применяются для производства элементарного фосфора, фосфорной кислоты и различных солей, используемых в химической и пищевой промышленности, медицине, фотографии, металлургии и в других отраслях, а также в быту в качестве синтетических моющих веществ.

*Общетехнические требования.* Требования к фосфатному сырью определяются ГОСТами и ведомственными техническими условиями (ТУ). В фосфоритах, идущих для размола на муку, содержание Р2О5 должно быть не менее 19 % (низший сорт); в фосфоритной муке высшего сорта содержание этого компонента должно быть 30 % и выше.

Для производства суперфосфата (наиболее распространенный вид удобрения) пригодно фосфатное сырье или его концентраты с содержанием *Р2О5* не менее 28 %, а для наиболее богатых фосфором сортов – не менее 32 %. В сырье для переработки кислотами вредны оксиды (главным образом *Fe2O3* и *Al2O3*), содержащиеся преимущественно в лимоните и глауконите, и карбонаты, представленные обычно кальцитом и доломитом. Количество Fe2O3 в фосфоритах, обрабатываемых серной кислотой, должно составлять не более 8 % от содержания пентоксида фосфора; содержание *СО2* желательно не более 5–6 %. Вреден также магний, входящий в состав карбонатов и некоторых силикатов (тальк, тремолит, серпентин и др.); количество *МgO* должно быть не более 7–8 % от содержания *Р2О5.*

При электротермическом способе переработки фосфоритов к сырью предъявляются менее строгие требования, лимитирующие лишь содержание Р2О5 (не менее 23 %) и оксидов железа (не более 3 %).

Добыча фосфатного сырья производится подземным и открытым способами. При подземной разработке промышленными считаются апатитовые руды с содержанием *Р2О5* не менее 8 %, а при открытых работах – не менее 6 %. В фосфоритах минимальным считается содержание *Р2О5* 3–5 %. Возможность рентабельной эксплуатации залежей в каждом конкретном случае обосновывается расчетами. Открытым способом разрабатываются месторождения с коэффициентом вскрыши не более 20 м и при минимальной мощности толщ апатитовых руд 10 м, пластов массивных фосфоритов – 1 м, фосфоритов желвакового типа – 0,5–1,0 м, ракушечниковых фосфоритов   
0,3 м.

***Апатиты.*** Месторождения апатитов связаны с изверженными и метаморфическими породами и образуются в результате эндогенных процессов. В апатитовых рудах фосфат обычно четко раскристаллизован, его индивиды гораздо крупнее, обособлены от фосфатных минералов. Среди промышленного руд апатита выделяют *собственно апатитовые руды*, в которых апатит является главным промышленным минералом, и комплексные апатитсодержащие руды, в которых апатит извлекают попутно с другими компонентами.

*Апатитоносные провинции.* В настоящее время на различных континентах Земли установлено 18 апатитоносных провинций, в пределах которых обнаружено более 100 месторождений апатитовых руд. В СНГ выделено 10 апатитоносных провинций: Карело-Кольская, Украинская, Шорско-Кузнецкая, Восточно-Саянская, Енисейско-Чадобецкая, Байкальская, Маймеча-Котуйская, Уджинская, Алданская и Джугджуро-Становая. По запасам минерального фосфатного сырья крупнейшей из них является Карело-Кольская.

***Фосфориты.*** Они являются продуктом литогенеза морских осадков, образовавшихся химическим, биологическим и механическим путем. Подчиненную роль играют остаточные и инфильтрационные образования в корах выветривания.

*Основные разновидности фосфоритов.* По составу минеральных компонентов, насыщенности фосфоритами и структурно-текстурным особенностям выделяют следующие основные разновидности фосфоритов: желваковые, зернисто-ракушечниковые, массивные и др.

*Желваковые фосфориты* представляют собой скопления округлых, овальных и неправильных конкреций, состоящих из различных нефосфатных минералов, сцементированных аморфным или кристаллическим фосфатным веществом. Размеры конкреций варьируют от долей миллиметра до 10–15 см. Залегают они в песках, глинах, мелу, конгломератах и других породах. Конкреции иногда сливаются в сплошную массу – фосфоритовую плиту. Содержание *Р2О5* в исходной руде 8–14 %.

*Зернисто-ракушечниковые фосфориты* состоят из мелких отложений (оолитов) и галек фосфатов или из фосфоризированных раковин и их обломков, содержащихся в песках и песчаниках. Фосфориты этой разновидности легко обогащаются, и при содержании *Р2О5* более 5 % в руде они являются промышленными.

*Массивные фосфориты* представляют собой однородные осадочные породы темно-серого, бурого и черного цвета. Под микроскопом устанавливается, что фосфориты этой разновидности состоят из мельчайших оолитов или кристаллических зерен фосфатного вещества, сцементированных кремнисто-фосфатным веществом. Они характеризуются высоким содержанием *Р2О5*, достигающим 26–28 % и более.

*Классификация фосфоритовых месторождений.* Различают платформенные и геосинклинальные месторождения. Для *платформенных месторождений* характерно: 1) широкое площадное распространение фосфоритоносных отложений; 2) небольшая мощность фосфоритовых пластов (несколько метров); 3) присутствие в разрезе фосфоритоносной толщи обычно одного-двух фосфоритовых пластов; 4) определенный состав вмещающих отложений – пески, глины, мергели, мел и опоки; 5) горизонтальное или слабонаклонное залегание фосфоритовых пластов.

*Месторождения геосинклинального типа* сложены чередующимися пластами кремнистых пород, известняков и доломитов, а также фосфоритов. Мощность фосфоритоносных толщ достигает 50–75 м. В них выделяется обычно до 7–10 фосфоритовых пластов, причем отдельные из них имеют мощность до 10–14 м. Фосфоритоносные толщи отличаются сложными условиями залегания: смяты в складки, разбиты разломами, сдвигами, иногда прорваны интрузиями, на контакте с которыми фосфориты бывают метаморфизованными до кристаллических апатитов.

*Закономерности распределения фосфоритов.* В геологической истории развития Земли существовали эпохи значительного фосфоритообразования. А.Л. Яншин и М.А. Жарков выделили три глобальные эпохи фосфоритообразования – венд-раннекембрийскую, мел-палеогеновую  
и пермскую. В венд-раннекембрийскую эпоху образовалось почти  
20 % всей массы фосфора на Земле. В мел-палеогеновую эпоху фосфориты формировались на огромной территории – в Восточно-Средиземноморском, Египетском, Алжиро-Тунисском, Марокканском, Западно-Сахарском и других бассейнах. В этих бассейнах сосредоточено около 59 % мировых запасов фосфоритовых руд.

**2 Месторождения Беларуси**

*Месторождения фосфоритов Беларуси.* В Могилевской области разведаны два месторождения – Мстиславльское и Лобковичское. Стратиграфически фосфориты связаны с отложениями сеноманского яруса верхнего отдела меловой системы.

На *Мстиславльском месторождении* мощность продуктивной пачки варьирует от 0,1 до 4,1 м (чаще 1,1–1,8 м). Содержание *Р2О5* по подсчетным блокам составляет 6,0–7,6 %. Запасы фосфоритовых руд по категориям С1+С2 оцениваются в 175 млн т. Средняя мощность вскрышных пород в пределах различных блоков изменяется от 27,9 до 36,2 м.

*Лобковичское месторождение* расположено в 10 км севернее г. Кричева. Полезное ископаемое залегает на глубине 20,6–79,0 м. Мощность продуктивной пачки в среднем 0,75–0,98 м. Содержание *Р2О5* в руде колеблется от 2,5 до 14,5 % (в основном 4,9–6,3 %). Запасы фосфоритовых руд по категориям С1+С2 составляют 245 млн т.

В конце 1990-х гг. выявлены два относительно небольших месторождения фосфоритов в Брестской области – Ореховское и Пограничное. Продуктивны палеогеновые отложения (желваковые фосфориты) и кора выветривания верхнемеловых образований (глинистые фосфориты).

**5.3** **Серное сырье**

1. Общие сведения и применение в промышленности

2. Генетические типы промышленных месторождений

**1. Общие сведения и применение в промышленности**

*Геохимия и минералогия.* ***Сера*** – неметаллический элемент с характерным ярко-желтым цветом. В природе она находится как в свободном состоянии, так и в виде неорганических и органических соединений, являясь 13-м элементом по распространенности. Среднее содержание ее в земной коре составляет 5×10-2 %, а в морской воде – 0,08–0,09 %. Сера распространена преимущественно в виде соединений, представленных сульфидами (пирит, марказит, халькопирит, сфалерит, галенит и др.), сульфатами (гипс, ангидрит, лангбейнит, полигалит и др.), присутствует в естественных газах (*Н2S, SO2*), нефтяных водах и водах некоторых минеральных источников, в сырой нефти и природном газе, входит в состав белков и содержится в организмах животных и в растениях.

Самородная сера бывает коллоидной (аморфной) и кристаллической. Известно шесть полиморфных модификаций ее, из которых только одна (альфа-сера), кристаллизующаяся в ромбической сингонии, устойчива в природных условиях. В составе серы преобладают изотопы *32S* и *34S,* отношение между которыми меняется от 21,61 до 22,60 и косвенно указывает на эндогенное или экзогенное ее происхождение.

Самородная сера встречается в виде зернистых или массивных скоплений. Твердость ее 1,5–2,5, плотность – 1,9–2,1 г/см3. Она плавится при температуре 110 о С, при температуре 248 о С воспламеняется и горит голубым пламенем с образованием *SO2.* Изоморфными примесями в ее составе являются селен, мышьяк, теллур, реже таллий. Основные механические примеси – карбонаты, глинистое вещество, ангидрит, гипс, твердые углеводороды. Сера нерастворима в воде и почти во всех кислотах, но легко растворяется в сероуглероде (*CS3*), в нефти, керосине и анилине.

*Применение в промышленности.* Основным потребителем серы (около 80 %) является химическая промышленность, в которой наибольшее количество ее идет для получения серной кислоты, используемой для производства фосфорных удобрений. В химической промышленности серная кислота применяется для получения других кислот (фосфорной, соляной и др.), пластмасс, красителей и др. В нефтяной промышленности она используется для очистки нефтепродуктов, в металлургии – для травления металлов. В элементарном виде она находит применение в резиновой, бумажной, текстильной, пищевой промышленности. Используется также для производства инсектицидов, стекла, взрывчатых веществ.

*Типы руд самородной серы.* Рудами считаются сероносные породы с содержанием серы не менее 5–8 %. По литологическому составу среди  
них различают кальцитовые, кальцит-доломитовые, мергелистые, песчанистые, гипс-ангидритовые, опаловые, серные кварциты и др. В зависимости от текстурных особенностей выделяют руды вкрапленные, гнездово-прожилковые, полосчатые и иные. По агрегатному состоянию серы руды бывают дисперсные, скрытокристаллические и явнокристаллические.

**2. Генетические типы промышленных месторождений**

Существуют две группы промышленных месторождений самородной серы – эндогенная и экзогенная. Месторождения первой группы развиты в областях молодой и современной вулканической деятельности и связаны с вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами; месторождения второй группы приурочены к толщам осадочных пород (преимущественно эвапоритовые формации).

*Эндогенная группа месторождений.* С месторождениями этой группы связано не более 5–10 % запасов серы. В состав группы входят:   
1) гидротермальные, 2) эксгаляционные, 3) вулканогенно-осадочные,   
4) месторождения-потоки серы.

*Гидротермальные месторождения* образуются в результате деятельности горячих сернокислых вод, вызывающих интенсивную переработку вулканогенных пород (преимущественно андезитов), их туфов, туффитов и туфобрекчий. Сера выделяется как при химическом взаимодействии сернокислых растворов с силикатами, так и при неполном окислении сероводорода, и при реакциях между сероводородом и сернистым газом. Рудные тела сложены сернистыми кварцитами, опалитами, алунитами. Залежи имеют пластообразную, линзовидную и штокверковую форму. Мощность их от 1–2 до 20–25 м. Содержание серы в рудах достигает 30–40 %.

*Эксгаляционные месторождения* возникают за счет газовых выделений и отложения серы в кратерах вулканов, в полостях, трещинах и т. д. Залежи этого типа невелики по размерам, но содержат руды высокого качества.

*Вулканогенно-осадочные месторождения* формируются в кратерных озерах, на дне которых по трещинам выходили горячие источники с сероводородом и сернистым газом. Выделявшаяся при этом элементарная сера оседала на дне озера в смеси с пепловыми и иловыми частицами. Залежи серных руд имеют форму плоских линз с размерами в поперечнике до нескольких сотен метров и мощностью до 25 м.

*Месторождения-потоки серы* возникают в результате излияния расплавленной серы через жерло и боковые трещины вулканов. Расплавленная сера заполняет небольшие трещины, полости и застывает. Залежи имеют неправильную и языкообразную форму. Образование их связано с переплавлением серы из серных руд других генетических типов.

*Экзогенная группа месторождений.* На месторождения этой группы приходится более 90 % разведанных в мире запасов серы. Среди них выделяют два типа – стратиформный и солянокупольный.

*Стратиформный тип* месторождений серы является основным в мире. Месторождения этого типа генетически и пространственно связаны с эвапоритовыми толщами (формациями). Известно шесть таких сероносных формаций: 1) верхнеказанская (Р2к) (месторождения Среднего Поволжья: Водинское, Алексеевское, Сюкеевское и др.); 2) очоанская (Р2) (месторождения Делаверского бассейна в США: Дувал, Калберсон и др.); 3) верхнеюрская (J3) (месторождение Гаурдак в Туркмении); 4) тортонская (N1t) (месторождения Предкарпатского бассейна: Тарнобжег, Гржибов, Езерко, Сташув в Польше, Немировское, Язовское, Любеньское, Подорожненское, Раздольское на Украине); 5) мессинская (N1) (месторождение на о. Сицилия); 6) нижнефарская (N1) (месторождение Мишрак в Ираке).

*Солянокупольный тип месторождений* – второй после стратиформного по промышленной значимости. Месторождения этого типа широко распространены в районе Мексиканского залива (США и Мексика). Сероносные залежи приурочены к кепракам соляных куполов, обнаруживая при этом тесную связь с углеводородами.

*Основные закономерности распространения*. Месторождения серы крайне неравномерно размещены на Земле. Выделяют шесть сероносных провинций: 1) Андийскую (западное побережье Южной Америки); 2) Восточноазиатскую (Камчатка, Курильские, Японские и Филиппинские острова, Индонезия); 3) Техас-Луизианскую, или побережье Мексиканского залива (США, Мексика); 4) Средиземноморскую (о. Сицилия, юг Франции, Испания, Предкарпатье); 5) Среднеазиатскую (Киргизия, Таджикистан, Узбекистан, Туркмения, Кавказ, Аравийский полуостров, Южная и Юго-Восточная Азия); 6) Восточноевропейскую (Среднее Поволжье, Республика Коми, Урало-Эмбинский район, Приуралье).

Общим для размещения на Земле эндогенных и экзогенных месторождений серы является то, что они не характерны для областей, переживающих современную стадию покоя или консолидации с эпейрогеническими движениями блоков, а также для древних геосинклинальных поясов – шовных зон, закрывшихся в разное время океанических бассейнов. Промышленных залежей серы нет на щитах, они редки и обычно невелики по масштабам в глубине плит платформ, в поясах доальпийской складчатости, особенно байкальской, каледонской и герцинской.

На Земле наблюдается стратиграфическая приуроченность большинства промышленных экзогенных месторождений самородной серы к отложениям перми, юры и неогена. Эндогенные месторождения ее формировались в основном в кайнозое.

*Геология месторождений самородной серы.* Основное практическое значение имеет стратиформный тип месторождения, характерным представителем которого является месторождение Мишрак.

**5.4** **Борное сырье**

1. Общие сведения и применение в промышленности

2. Генетические типы промышленных месторождений

**1. Общие сведения и применение в промышленности**

*Геохимия и минералогия.* Как химический элемент бор впервые был получен Ж. Гей-Люссаком в 1808 г. при нагревании борной кислоты с металлическим калием. Кларк бора (по А. П. Виноградову) в земной коре составляет 1,2×10-3 %. Повышенные концентрации его наблюдаются в глинах и в глинистых сланцах (1,1×10-2 %), фосфоритах (1,3×10-2 %), железо-марганцевых конкрециях (1,1×10-2 %), а также в подземных водах вулканически активных районов и в нефтяных водах. Известны два стабильных изотопа бора *11B* и *10B* с соотношением примерно 4,2 : 1.

Бор входит в состав многих минералов, общее число которых достигает ста шестидесяти. Большинство из них являются боратами магния, кальция, натрия и калия. Известны также боросиликаты и боралюмосиликаты. Однако промышленное значение имеет сравнительно небольшое количество минералов.

*Применение в промышленности.* Основными потребителями бора являются стекольная и керамическая промышленность: оптические стекла, кислото- и огнеупорные изделия, теплоизолирующие стекловолокна, эмали, глазури и др. В значительных объемах (15–30 %) борное сырье используется в мыловарении и производстве отбеливающих средств.

В небольшом количестве бор применяется в медицине, в металлургии как присадка к стали, в резиновой, парфюмерной, лакокрасочной и кожевенной промышленности. Используется он также и в сельском хозяйстве.

Особенно расширились области применения бора в последнее время. Бориды (соединения бора с металлами) используются при производстве особо прочных деталей газовых турбин и деталей реактивных двигателей. Карбид бора (В4С) ввиду его способности поглощать нейтронт используется для регулирования работы атомных реакторов.

*Типы руд.* В зависимости от технологии переработки выделяются следующие промышленные типы руд: 1) бораты, растворимые в воде (бура, кернит, сассолин и др.); 2) бораты, растворимые в кислотах (пандермит, гидроборацит и др.); 3) боросиликаты, растворимые в кислотах (датолит);   
4) боросиликаты, нерастворимые в кислотах (данбурит); 5) борсодержащие воды, рапа соляных озер, нефтяные воды, горячие источники.

*Общетехнические требования.* Боратовые руды (первый и второй типы) отличаются хорошими технологическими свойствами и при содержании *В2О3* более 13 % идут в переработку без обогащения. Максимальное содержание *В2О3* в них нередко составляет 20–30 %, а минимальное – 2–6%. Вредные примеси в рудах – кальций, магний, сульфаты железа и алюминия.

Боросиликатные руды (датолитовые и данбуритовые) по качеству делятся на высокосортные (содержание *В2О3* более 10 %), среднесортные (5–10 %) и низкосортные (3–5 %). Эти руды требуют обогащения. Рапа соляных озер (солары) характеризуется отностительно невысоким содержанием *В2О3* (0,5–2,2 %). Однако в связи с простой технологией извлечения *В2О3* из рапы эксплуатация таких месторождений экономически является рентабельной.

**2. Генетические типы промышленных месторождений**

Известны следующие генетические типы промышленных месторождений боратов: 1) скарновый (контактово-метасоматический);   
2) эксгаляционный; 3) вулканогенно-осадочный; 4) химический (галогенный); 5) остаточный и инфильтрационный.

*Скарновый тип* месторождений бора подразделяется на известково-скарновый и магнезиально-скарновый подтипы. Известково-скарновые месторождения приурочены к скарнам, образовавшимся в результате метасоматического замещения карбонатных пород при воздействии на них гранитоидных интрузивов. Борсодержащие минералы представлены датолитом, данбуритом и аксинитом. Форма рудных тел – линзо- и пластообразные залежи, жилы, тела неправильной формы. Содержание В2О3 в рудах варьирует от 5 до 15 %. К месторождениям этого подтипа относятся Дальнегорское в Приморье и Золотой Курган на Кавказе (Россия), Лиштице (Чехия) и др.

*Магнезиально-скарновые месторождения* формируются на контакте доломитов с интрузивными породами, преимущественно с гранитами, гранодиоритами и диоритами. Скарны сложены в основном диопсидом, шпинелью, форстеритом. По составу боратов магнезиально-скарновые месторождения делятся на три группы: суанитовую, котоитовую и людвигитовую. Содержание В2О3 в котоитовых рудах составляет 6–8 %, людвигитовых – 4–10 %, суанитовых – 12–17 %. Месторождения этого подтипа известны в России (Таежное на Алданском массиве), КНДР (Холь-Гол), Казахстане, США, Италии, Турции и других странах.

*Эксгаляционный тип* – это бороносные термальные источники (фумаролы и сольфатары с температурой 90–200 о С). Они содержат борную кислоту (сассолин), количество которой колеблется от сотых долей процента до 0,5 %. Месторождения этого типа эксплуатируются в Италии (Тоскана).

*Вулканогенно-осадочный тип* месторождений образует пластовые и линзообразные залежи, сложенные вулканогенно-соленосно-глинистыми породами, содержащими большое количество боратов. Источником бора являются вулканические эксгаляции или вулканогенные породы обычно базальтового состава, из которых бор легко выщелачивался и накапливался в бессточных или слабо проточных котловинах (пресных или соленых озерах). Выпадение борных минералов присходило в результате химических реакций, протекавших в водах озер, или частично путем замещения известковистых осадков борными минералами. На месторождениях этого типа базируется борная промышленность США, Турции, Аргентины и Чили.

*Химический (галогенный) тип* месторождений бора парагенетически связан с сульфатными залежами калийных солей. Бор осаждался в лагунах и усыхающих морских бассейнах при весьма высокой солености рапы. Он входил в состав калиборита, гидроборацита, борацита и других магниевых и кальциево-магниевых боратов. Залежи – пластообразной и линзообразной формы. Содержание В2О3 в первичных бедных рудах увеличивается до   
10–25 % за счет выноса из вмещающих пород легкорастворимых солей натрия и калия.

*Остаточные и инфильтрационные* месторождения обычно приурочены к гипсовым шляпам соляных куполов. В результате проявления гипергенных процессов первично осажденные бораты замещаются улекситом, ашаритом и иньоитом. Содержание В2О3 в первичных бедных рудах увеличивается до 10–25 % за счет выноса из вмещающих пород легкорастворимых солей натрия и калия.

Бораты могут растворяться в грунтовых водах и переотлагаться в пределах гипсовой шляпы, образуя инфильтрационные залежи линзообразной формы. Бораты представлены вторичным гидроборацитом, улекситом, иньоитом и другими минералами.

*Геология месторождений боратов.* Одним их крупнейших в мире является месторождение боратов Крамер (Борон). Оно расположено в пустыне Мохаве (штат Калифорния) и относится к типу вулканогенно-осадочных. Приурочено к озерным отложениям миоценового возраста, залегающим со стратиграфическим несогласием на изверженных и метаморфических породах. С верхней частью разреза озерных отложений (слои Крамер) связано бороносное рудное тело, расположенное среди синих и зеленых сланцев.

**Раздел 6 Индустриальное сырье**

**6.1 Асбест. Графит. Слюда**

1. Общие сведения и применение в промышленности

2. Генетические типы промышленных месторождений

**1. Общие сведения и применение в промышленности**

***Асбест.*** Многие виды неметаллического минерального сырья представлены вполне определенными минералами с их специфическими физическими свойствами и химическим составом и непосредственно используются в промышленности в своем естественном виде. Такое сырье обычно принято называть индустриальным, или индустриально-техническим. Его переработка сводится к извлечению из горной массы промышленно ценных минералов и осуществляется механизированным способом (флотация, воздушная, магнитная, электромагнитная сепарация и т. п.) либо вручную. Наиболее характерными представителями этой группы минерального сырья являются асбест, графит, слюды, барит, магнезит, флюорит и др.

*Минералогия.* Асбестами называютсяминералы, которые легко расщепляются на тончайшие прочные и гибкие волокна, выдерживающие высокие температуры. К ним относятся хризотил-асбест, крокидолит, амозит, антофиллит, иногда тремолит, актинолит, режикит и др. По своей атомной структуре хризотил-асбест принадлежит к минеральной группе серпентина, а все остальные – к группе амфиболов.

*Хризотил-асбест* («белый асбест») – волокнистая разновидность водного силиката магния – серпентина. Состав его отвечает формуле *Mg6[Si2O5](OH)8* или *3MgO×2SiO2×2H2O.* В качестве изоморфной примеси, замещающей оксид магния, присутствует FeO, а механическими примесями являются *Fe2O3, Al2O3, Cr2O3, MnO, NiO, CaO, Na2O и Н2О*. Элементарные кристаллы-волокна обладают трубчатым строением и имеют форму полых цилиндров с внешним диаметром 260 А, внутренним – 130 А и толщиной стенок 65 А. Хризотит-асбест слагает жилки в темно-зеленых серпентинитах. Характеризуется высокой температурой плавления (1521 0С), при температуре 700 о С теряет конституционную воду и становится хрупким. Твердость его 3–3,5, средняя плотность – 2,5 г/см3. Хризотит-асбест щелочеустойчив, но мало устойчив к воздействию кислот, обладает высокими сорбционными, тепло-звуко- и электроизоляционными свойствами. Волокна его имеют длину от сотых долей миллиметра до 250–300 мм, обычно до 6–7 мм.

*Крокидолит* («голубой или синий асбест») – волокнистая разновидность рибекита. Кристаллизуется в моноклинальной сингонии. Химический состав крокидолита выражается формулой *Na2Fe5[Si4O11]2(OH)2* или *Na2O×3FeO×Fe2O3×8SiO2×H2O*. Встречается в поперечно-волокнистых жилках. Температура плавления – 1193 о С. По механической прочности не уступает хризотил-асбесту, но теряет конституционную воду при температуре 200–500 о С. Обладает высокими тепло- и электроизоляционными свойствами. Обычная длина волокна 1,5–30 мм, максимальная – 75 мм.

*Амозит* («коричневый асбест») – это водный магнезиальный силикат сложного и непостоянного состава с большим содержанием глинозема. Его химический состав *MgFe3[Si4O11]2(OH)2* или *MgO*×*6FeO*×*8SiO2*×*H2O.* Цвет амозита пепельно-серый до коричневого, после извлечения из породы – белый. Температура плавления – 1100–1200 о С, устойчив к воздействию кислот и щелочей. Для него характерна большая длина волокна, в среднем 100–175 мм.

*Применение в промышленности.* Асбесты широко применяются во многих отраслях промышленности. Использование их основано на охарактеризованных выше свойствах асбестовых минералов, а также в зависимости от длины волокна. Существует два класса асбестов – текстильное волокно и группа строительных сортов.

Особенно широкое применение имеет хризотил-асбест. К текстильному асбесту относят сорта с длиной волокна более 8 мм. Асбестовое волокно используется в производстве пряжи и тканей, идущих для изготовления защитных огнестойких костюмов, брезентов, тормозных лент, дисков сцепления, электроизоляционных лент, прокладок, фильтров и других видов продукции.

В шиферно-картонно-бумажном производстве хризотил-асбест применяется для изготовления шифера, асбоцементных труб для канализации, водопровода, для получения асбестовой бумаги и картона, а также в производстве тепло- и электроизоляционных смесей и теплостойких пластмасс. Сорта асбеста с короткой длиной волокна в смеси с цементом широко используются в производстве строительных материалов (асбоцементные плиты, листы для внутренней облицовки зданий и т. п.).

Амфибол-асбесты (крокидолит, амозит и др.) применяются в химической промышленности для производства различных кислото-щелочных изделий (фильтров, прокладок, пластмасс и др.), а их длинноволокнистые сорта являются текстильным сырьем.

*Типы руд.* В природе волокна асбеста встречаются в агрегатах трех типов. Наиболее часто наблюдаются *поперечно- и косоволокнистые агрегаты,* слагающие жилы, в которых волокна асбеста ориентированы строго параллельно друг другу, но располагаются или перпендикулярно к стенкам жилы (поперечно-волокнистые жилки), или под косым углом (косоволокнистые жилки). Они характерны в основном для хризотил-асбеста, крокидолита и амозита.

Выделяются четыре типа жилкования: 1) простые отороченные жилы (нередко с просечками в центре их); 2) сложные отороченные жилы (серия взаимно параллельных жилок); 3) жилы типа крупной сетки, представленные разнообразно ориентированными поперечно-волокнистыми жилами, иногда пересекающимися между собой, но чаще плавно сопряженными друг с другом; 4) мелкопрожилы – серия взаимно параллельных поперечно-волокистых жилок мощностью 2–3 мм, реже 5–6 мм.

*Продольно-волокнистые агрегаты* образуют жилки, в которых волокно располагается параллельно стенкам. Это обычно длинное волокно, но в основном низкого качества. Продольно-волокнистый асбест встречается в месторождениях хризотил-асбеста и антофиллита. Типичный представитель этой группы – Карачаевское месторождение асбеста на Северном Кавказе.

*Спутанно-волокнистые агрегаты* образованы разно ориентированными пучками, радиально-лучистыми гнездами или тончайшими жилками радиально расположенных иголок и волокон асбеста. Под микроскопом мельчайшие пучки, гнезда и тончайшие жилки волокон представляют так называемое волокно массы («mass fiber»). Агрегаты этого типа свойственны антофиллиту, родуситу и режикиту.

***Графит*** – мягкая, черная, жирная на ощупь модификация элементарного углерода. Он кристаллизуется в гексагональной сингонии и встречается нередко в виде шестигранных таблитчатых кристаллов. Чаще всего графит образует мельчайшие чешуйки или листочки, слагая листоватые агрегаты или неправильные скрытокристаллические массы. Кристаллическая структура его характеризуется весьма крепкой ковалентной гомеополярной связью атомов углерода в пределах слоя, но весьма слабой межслоевой молекулярной ван-дер-ваальсовской связью. Твердость графита – 1, плотность – 2,2–2,3 г/см3. Природный графит редко бывает химически чистым. В нем постоянно присутствуют примеси – кальцит, мусковит, биотит, глинистое вещество, пирит, кварц, органический углерод, вода, битумы и газы *(СО2, СО, Н2, СН4, N2 и др.).*

Особенность строения кристаллической решетки графита, в частности наличие в ней свободных электронов, обусловливает его специфические физические свойства: 1) совершенную спайность по одному направлению;   
2) низкую твердость; 3) огнеупорность (температура плавления 3800–3900 оС); 4) высокую электро- и теплопроводность; 5) химическую инертность (растворяется лишь в расплавленных силикатах или металлах, образуя карбиды); 6) высокую жирность и пластичность; 7) высокую кроющую способность; 8) непрозрачность и др.

*Применение в промышленности.* Основная масса графита используется в качестве огнеупоров, производстве высокоуглеродистой стали и в литейном деле. Значительное количество его идет на производство всевозможных смазок, токопроводящей резины, сухих батарей, электродов, скользящих контактов, карандашей, туши и других изделий.

Особо чистый графит используется как замедлитель при ядерных реакциях в атомных котлах, применяется для изготовления деталей ракет в реактивной технике. Он является основным сырьем для промышленного синтеза технических алмазов, находит широкое применение в порошковой металлургии и в производстве полупроводников.

*Типы руд.* Графитовые руды в зависимости от величины зерна (кристаллов) подразделяют на: 1) руды чешуйчатых графитов (кристаллический чешуйчатый графит, *flak graphite*);   
2) плотнокристаллические графиты (кристаллически кусковой графит, lump graphite); 3) скрытокристаллические или «аморфные» графиты (amorphous graphite). Руды чешуйчатых графитов по диаметру кристаллов разделяются на крупночешуйчатые (более 0,1 мм) и мелкочешуйчатые (0,001–0,1 мм). Они чаще всего встречаются в месторождениях метаморфогенного и контактово-метасоматического происхождения, реже в пегматитовых. В плотнокристаллических рудах размер кристаллов тот же, что и в мелкочешуйчатом графите, однако они не ориентированы, что затрудняет расщепление агрегата. Такие руды формировались в магматических и пневматолитовых месторождениях. Величина зерен в скрытокристаллических («аморфный» графит) рудах обычно менее 0,001 мм. Графиты этого типа формировались в метаморфизованных углях.

***Слюды*** представляют собой группу диметасиликатов слоистой структуры. Все они кристаллизуются в моноклинальной сингонии, обладают совершенной спайностью по пинакоиду, что позволяет расщеплять их на тончайшие пластинки. Окраска их варьирует от бесцветной до зеленовато-коричневой и почти черной. Плотность слюд – 2,7–3,1 г/см3, твердость – 2–3. Несмотря на относительно широкое распространение слюд в природе, в том числе биотита (магнезиально-железистой слюды), циннвальдита, лепидолита (литиевых слюд), основное промышленное значение имеют мусковит (калиево-алюминиевая слюда) и флогопит (калиево-магнезиальная слюда). В промышленности используется также гидрослюда – вермикулит.

*Мусковит* *KAl2 [AlSi3O10]*×*(OH ,F)2* – белая слюда, кристаллизующаяся в моноклинальной сингонии в виде таблитчатых и столбчатых кристаллов. Характерны чешуйчатые и листовато-зернистые агрегаты. Мусковит обычно бесцветный, зеленоватый и красный. В качестве примесей содержит *Fe*   
(1–4 %), *Mg* (0,2–1,1 %), *Na* (0,1–0,7 %), а также незначительное количество *Mn, Rb, Li, Ba, Ca, W, Ti, и V*. Мелкочешуйчатая разновидность мусковита – жильбертит (диаметр пластинок – первые миллиметры), тонкочешуйчатая – серицит (диаметр пластинок – десятые и сотые доли миллиметра).

*Флогопит* *K(Mg, Fe)3×[AlSi3O10]×(OH, F)2* – (флегопос) – огнеподобный (по красноватому оттенку). Минерал окрашен в коричневато-янтарный, зеленовато-коричневый и другие цвета. Основными примесями в нем являются *Na, Mn, Cs, Ba, Rb, Li.*

*Вермикулит* *(Mg, Fe+2, Fe+3)3 × [(Si, Al)4O10](OH)3×4H2O* характеризуется переменным количеством железа, алюминия и магния. Цвет бронзовый, желтовато-коричневый до темного. В нем наблюдается примесь *Ca, Mn и Ti*, а также следы *Na, K, Ni, Cr, Ba* и других элементов. Твердость вермикулита – 2,1–2,8, плотность – 2,5 г/см3.

*Физические свойства*. Важнейшими физическими свойствами мусковита и флогопита, обусловливающими их промышленое применение, являются: 1) весьма совершенная спайность, позволяющая получать тончайшие (до нескольких микронов) и прочные гибкие листочки;   
2) относительно высокая химическая стойкость (особенно у мусковита);   
3) термическая стойкость, т. е. способность сохранять при нагревании физические свойства (у мусковита достигает 500–600 о, у флогопита –   
1000 оС); 4) высокая электрическая прочность, определяемая напряжением, при котором происходит пробой диэлектрика; 5) прозрачность мусковита и некоторых разностей флогопита.

Основным промышленным свойством вермикулита является его способность вспучиваться при нагревании свыше 200 оС с увеличением объема в 8–12 раз (предельно в 30 раз). Кроме того, важным свойством его является высокая способность к катионному обмену.

*Применение в промышленности.* Главными потребителями мусковита и флогопита являются электротехническая и радиотехническая промышленность. В этих отраслях промышленности используется около 85–90 % всей добычи качественного сырья (листовая слюда, слюдяные изделия из щипаной слюды). Литовая слюда применяется также в качестве вставок в окна плавильных печей, бытовых приборов, в очках.

Отходы от обработки слюды (скрап), дробленая и молотая слюда используются при изготовлении толя, рубероида и других мягких кровельных изделий, для производства слюдинита и слюдопласта, огнестойких материалов, красок, смазок и т. д.

Вспученный вермикулит находит применение в строительстве как наполнитель звуко- и теплоизоляционных штукатурок и легких бетонов, используется в авиационной и автомобильной промышленности, а также для очистки промышленных вод и улавливания газов.

*Типы руд.* Состав руд определяется присутствием основных минералов – мусковита, флогопита, вермикулита и др. Они могут быть преимущественно мусковитовыми, флогопитовыми, вермикулитовыми или литиевыми.

Многие месторождения слюд являются комплексными: одновременно со слюдами могут добываться полевые шпаты, кварц, пегматит и др.

*Условия образования месторождений слюд.* Мусковит и флогопит являются продуктами эндогенных процессов, характеризовавшихся высокими температурами, большим давлением и различным химизмом сред. В условиях высокой активности глинозема происходило формирование мусковита, а в условиях повышенной активности магния и железа – флогопита и биотита.

Образование *мелкочешуйчатого мусковита* осуществлялось обычно при кристаллизации различных магматических пород. Однако промышленные месторождения связаны только с телами аляскитовых гранитов (содержание слюды до 15 % и более).

*Крупнокристаллический листовой мусковит* формировался, как правило, в составе тел гранитных пегматитов, распространенных в полях метаморфических докембрийских толщ амфиболитовой фации регионального метаморфизма. Крупные кристаллы мусковита являются результатом воздействия постмагматических пневматолито-гидротермальных флюидов, метаморфизовавших пегматиты с разрушением полевых шпатов и появлением так называемого кварц-мусковитового комплекса:

Формирование промышленной *флогопитовой минерализации,* связанной с массивами ультраосновных щелочных пород, происходило в результате инфильтрационного замещения ультрабазитовых пород и окружающих их магматических метасоматитов.

*Вермикулит* образовывался в процессе гидратации флоготипа и биотита в зоне гипергенеза при формировании коры выветривания.

**2. Генетические типы промышленных месторождений**

***В настоящее время выделяются четыре главнейших геолого-промышленных типа месторождений асбеста.***

*Первый тип* – линзо- и трубообразные залежи и жилы с хризотиловой минерализацией в серпентинизированных ультрабазитах. С этим типом связаны наиболее крупные месторождения хризотил-асбеста (Баженовская группа на Урале, Тетфордский пояс в провинции Квебек в Канаде и др.). По характеру жилкования (строению жил асбеста) выделяются три подтипа – *баженовский, лабинский и карачаевский*.

Месторождения *баженовского подтипа* представляют собой крупные (до 600 м) крутопадающие тела, характеризующиеся концентрически-зональным строением, обусловленным различными типами асбестоносности: мелкопрожила, мелкой и крупной сеток, простых и сложных жил. К этому типу относится большинство месторождений Урала (Баженовское, Киембаевское, Джетыгаринское), Сибири (Саянское, Молодежное и др.), Канады (Джеффри, Блэк-Лейк, Клинтон-Крик и др.), Зимбабве (Машаба, Шабани) и других стран.

Месторождения *лабинского подтипа* представлены простыми или сложными жилами поперечно-волокнистого асбеста. Наиболее типичные представители – месторождение Лабинское на Северном Кавказе, Нью-Амиантус в ЮАР и др.

Месторождения *карачаевского подтипа* характеризуются продольно-волокнистым жилкованием по плоскостям трещин и скольжением в серпентинитах (Карачаевское месторождение в России, Ешкеульмесское в Казахстане, Ист-Броутон в Канаде и др.).

Образование хризотил-асбеста в серпентинизированных и стратиформных массивах ультрабазитов связано с воздействием гидротермальных растворов, природа которых дискуссионна. Процесс серпентинизации ультраосновных пород происходил под действием кремнекислых либо углекислых гидротерм.

*Второй тип* – пластовые и жилообразные зоны серпентинизации с хризотиловой минерализацией в метаморфизованных магнезиальных карбонатных толщах. Втречаются значительно реже месторождений первого типа. Для них наиболее характерны единичные жилы (Аспогашское месторождение в России, месторождения в штате Аризона). Иногда наблюдаются сетчатые жилы, мелкопрожил, просечки (Вангырское месторождение на Полярном Урале, месторождения в Китае и др.). Все месторождения этого типа считаются контактово-метасоматическими. Они локализованы в магнезиальных карбонатных породах вблизи контакта с изверженными основными или кислыми породами. Серпентинизация и асбестообразование происходили в гидротермальную стадию контактового метасоматоза по доломитам в условиях привноса кремнекислоты.

Достоинством асбестового волокна месторождений этого типа является исключительно низкая железистость, что предопределяет использование его в электротехнической промышленности.

*Третий тип* – пластовые жилы с крокидолитом и амозитом в железо-кремнистых породах типа железистых кварцитов и яшм близ контактов с доломитами. Месторождения этого типа известны в ЮАР (Трансвааль и Капская провинция), в Западной Австралии.

*Четвертый тип* – гнездо-, линзо- и штокообразные тела с антофиллит-асбестовой минерализацией в метаморфизованных ультрабазитах амфиболито-гнейсовых комплексов. Характерна тесная связь месторождений этого типа с метаморфизованными ультраосновными породами в составе амфиболито-гнейсовых комплексов регионального метаморфизма. Типичные представители – Сысертское месторождение на Урале, Бугетысайское в Мугоджарах, месторождения Финляндии, США и других стран.

*Геология месторождений асбеста*. В СНГ крупнейшим по запасам и экономическому значению является *Баженовский асбестоносный район*, находящийся в Свердловской области. Здесь выявлен ряд месторождений, крупнейшим из которых является Баженовское (близ г. Асбест), открытое в 1885 г. русским землемером А. П. Лодыженским. Это месторождение приурочено к Баженовскому массиву гипербазитов, входящему в состав полосы габбро-перидотитов Среднего Урала, простирающейся в субмеридиональном направлении примерно на 180 км. Баженовский гипербазитовый массив также имеет субширотное простирание, длина его составляет около 30 км, ширина – 1,1–3,5 км, площадь – 75 км2.

*Месторождения Баженовского асбестоносного района* являются крупнейшими в мире, эксплуатируются рядом крупных карьеров. Карьеры имеют размеры в длину до 4 км при ширине до 1,5 км. Глубина отдельных из них достигает 200 м. Ежегодно добыча составляет 1,5–2 млн т минеральной массы.

*Месторождения амозита и крокидолита ЮАР.* Основные месторождения амозита сосредоточены в провинции Трансвааль в пределах обширного рудного поля, представляющего дугообразную полосу длиной 100 км, окаймляющую северо-восточное окончание Бушвельдского интрузивного комплекса. В геологическом строении рудного поля принимают участие породы трансваальской супергруппы докембрия (кварциты, доломиты, железистые кварциты, яшмы, сланцы и др.). Амозит-асбестовая минерализация приурочена к толще железистых кварцитов и яшм, перекрывающей доломиты и смятой в пологие синклинальные и антиклинальные складки. Максимальная мощность этой толщи достигает   
700 м.

Амозит-асбест синевато-серый, поперечно-волокнистый, образует серию согласных прожилков, содержащих крупные кристаллы грюнерита и скопления графита. Амозитсодержащие слои подстилаются и перекрываются железистыми кварцитами. В пределах каждого их слоев фиксируется до 5–6 параллельных прожилков со средней длиной волокна 10–12 см. Несколько слоев с амозит-асбестовой минерализацией образуют четко стратифицированную продуктивную пачку. В разрезе железистых кварцитов яшм наблюдаются четыре такие пачки мощностью до 10 м каждая.

*Месторождения крокидолита* находятся в Капской провинции и сосредоточены в пределах полосы, вытянутой на 400 км и шириной до 45 км. Они связаны с образованиями той же трансваальской супергруппы докембрия. Крокидолитовая минерализация приурочена к группе гхаап, сложенной преимущественно доломитами с пачками полосчатых железистых кварцитов. Главная промышленная зона представляет чередование грубо- и тонкослоистых магнетитовых кварцитов с согласными жилами поперечно-волокнистого крокидолита. Выделяется до восьми асбестоносных жил со средней длиной волокна 15–20 мм. Зона промышленной крокидолитовой минерализации имеет прерывистый характер. Разработка осуществляется посредством небольших открытых горных выработок.

***Выделяются четыре типа промышленных месторождений графита***: 1) магматический; 2) контактово-метасоматический;   
3) высокотемпературный гидротермальный; 4) метаморфический.

*Магматические месторождения* графита связаны с интрузивными и эффузивными породами разного состава – от кислых и щелочных до ультраосновных. Графит в этих породах обычно рассеян в виде чешуек, встречаются также скопления плотнокристаллического графита в виде штоков, гнезд и жил. Источником углерода для образования графита служат как газообразные составляющие части исходной магмы, так и углерод, ассимилированный магмой из вмещающих пород.

Классическим представителем месторождений этого типа является Ботогольское месторождение чешуйчатого и плотнокристаллического графита в Восточном Саяне. Оно приурочено к массиву щелочных и нефелиновых сиенитов.

*Контактово-метасоматические месторождения* графита приурочены к зоне контакта карбонатных и глубинных изверженных пород. В процессе их взаимодействия в зоне контакта образуются скарны. При этом происходит диссоциация молекул карбонатов

*CaCO3→ CaO + CO2*

*MgCO3 →MgO + CO2*

с образованием силикатов кальция и магния (тремолит, волластонит, гранат, скаполит и др.). Освободившийся углекислый газ в условиях высоких температур при наличии водорода может восстанавливаться до углерода:

*СО2 + 2Н2 → С + 2 Н2О*

Для месторождений этого типа характерен крупночешуйчатый графит, рассеянный среди скарнированных пород. Иногда возникают значительные скопления в виде тел жило- и штокообразной формы. Содержание графита в рудах достигает 10–20 %. Месторождения этого типа известны в Канаде (Блэк Дональд), Узбекистане (Тас-Казган) и в других странах.

*Высокотемпературные гидротермальные месторождения* графита обычно связаны с гнейсами и кристаллическими сланцами. Они образовались в результате кристаллизации графита из высокотемпературных гидротермальных растворов, обогащенных летучими компонентами и циркулировавших в открытых трещинах. Рудные тела имеют форму жил и линз мощностью до 2–5 м. Характерен плотнокристаллический графит. К этому типу относятся месторождения Шри Ланки, Малагасийской Республики, Канады (провинции Онтарио и Квебек) и др.

*Метаморфические месторождения* представляют обычно залежи и линзы богатых руд скрытокристаллического (аморфного) графита в стратифицированных осадочных толщах различного возраста. Образуются они в основном в процессе контактового метаморфизма угольных пластов. При региональном метаморфизме за счет рассеянных в осадочных породах органических остатков формировались месторождения плотно  
кристаллического или чешуйчатого графита. Наиболее характерны месторождения, образовавшиеся при контактовом метаморфизме углей: Курейское, Ногинское и другие в Красноярском крае, месторождения штата Сонора в Мексике и др.

*Геология месторождений графита.* В СНГ крупнейшей по запасам является *Тунгусская графитоносная провинция*, расположенная на западной окраине одноименного каменноугольного бассейна. Здесь широко распространены триасовые трапповые силлы и секущие дайки диабазов, вызвавшие графитизацию угольных пластов. Пласты скрытокристаллического графита развиты по правым притокам Енисея – рекам Бахте, Фатьянихе, Нижней Тунгуске и Курейке. На площади около 48 тыс км2 выявлено 15 месторождений и промышленных объектов.

Наиболее крупным среди них является *Курейское месторождение*. Оно находится по обоим берегам р. Курейки примерно в 110 км от ее устья. Приурочено месторождение к отложениям бургуклинской свиты нижней перми, в разрезе которой известно 6 пластов каменного угля и один пласт графита средней мощностью 15 м. Графитовый пласт прослеживается по обрыву реки на протяжении 500 м. Внутреннее строение графитового пласта достаточно сложное: он состоит из слоев скрытокристаллического графита различного качества и содержит многочисленные линзы и прослои терригенных пород, а также апофизы и жилы диабазового состава. В составе руды, помимо доминирующего скрытокристаллического графита, наблюдаются его мелко- и крупночешуйчатые разновидности, минеральные примеси (кальцит, цеолиты, апатит, хлорит, серицит, магнетит, циркон, силикаты и др.). Текстура руды массивная и сланцеватая. Местами присутствуют графитизированные остатки растений. Руды месторождения содержат (%): углерода 8,45–90,6, золы 5,7–14,3, летучих 0,9–3,0,   
воды 0,3–0,5. Разведанные запасы графита, пригодные для разработки открытым способом, оцениваются в 10 млн т.

*Месторождение Блэк Дональд* расположено в Канаде (провинция Онтарио). Оно приурочено к кристаллическим известнякам протерозойской группы Гренвилл. Промышленная залежь чешуйчатого графита мощностью 3–10 м имеет пластообразную форму и залегает в виде асимметричной синклинальной складки. Южное крыло этой складки прорвано крутопадающими дайками и жилами аплитов и пегматитов, а центральная часть ее осложнена малоаплитудным взбросом. Графитовая залежь подстилается силицифицированными, а перекрывается скарнированными известняками. Основные силикатные минералы – полевые шпаты, скаполит и диопсид. В составе пород в небольших количествах присутствуют пирит, слюда, кварц.

Наиболее богатые участки месторождения, ныне полностью отработанные, содержали до 70–85 % графита, (в среднем 55–65 %). Среднее содержание графита в рядовых рудах – 25 %. В последние годы отрабатывались бедные руды с содержанием графита в среднем около 15 %. По мнению канадских геологов, месторождение Блэк Дональд относится к типу контактово-метасоматических и образовалось на контакте гренвиллских известняков с секущими жилами и дайками аплитов и пегматитов.

***Геолого-промышленные типы месторождений слюды****.* Несмотря на многообразие условий формирования, промышленные типы месторождений слюд немногочисленны. В настоящее время главное значение имеют следующие геолого-промышленные типы месторождений:

*1. Согласные пластовые и четковидные залежи, жильные и неправильной формы тела мусковитовых плагиоклазовых и плагиоклаз-микроклиновых гранитных пегматитов в древних высокометаморфизованных толщах.* Размеры этих рудных тел по простиранию достигают до сотен – первых тысяч метров, по мощности – от 2–5 до 30–50 м. К этому типу относятся месторождения Мамско-Чуйской и Карело-Кольской провинций в России, в штатах Бихар, Раджастан и Андхра-Прадеш в Индии, в Бразилии, Зимбабве и других странах.

*2. Линзы, гнезда, жилы, неправильной формы метасоматические залежи крупнокристаллического флогопита в карбонатных комплексах ультраосновных щелочных пород.* Размер рудных тел и залежей составляет десятки и сотни метров. Руды нередко являются комплексными; наряду с флогопитом из них могут извлекать апатит, магнетит, бадделеит и другие виды минерального сырья. Наиболее характерные месторождения – Ковдор, Гулинское, Маган в России, Якупиранга в Бразилии, Лулекоп в ЮАР и др.

*3. Линзовидные, пластообразные, гнездовые, жильные и столбообразные залежи крупнокристаллического флогопита среди диопсидовых, кварц-диопсидовых, скаполит-диопсидовых пород, пироксен-роговообманковых сланцев, доломитов, кальцифиров в составе древних высокометаморфизованных гранито-гнейсовых комплексов.* К этому типу принадлежат месторождения Алданской слюдоносной провинции в России, Памирской провинции в Таджикистане, ряд месторождений в пределах Канадского кристаллического щита.

*4. Пластовые, линзовидные, жило- и штокообразные залежи вермикулита в корах выветривания массивов ультраосновных (пироксенитовых) и ультраосновных щелочных пород* (месторождение Ковдор в России, Либби в США и др.).

**6.2 Барит и витерит**

1. Общие сведения и применение в промышленности

2. Генетические типы промышленных месторождений

**1. Общие сведения и применение в промышленности**

Барий не имеет широкого распространения в земной коре. Кларк его равен 0,05 %. Генетически барий связан с кислыми магматическими породами. Он входит в состав многих минералов – полевых шпатов, биотита, мусковита и др. Промышленное значение имеют только два минерала – барит и витерит.

*Барит* – сульфат бария, или тяжелый шпат (*BaSO4*), встречается в виде зернистых масс и хорошо очерченных кристаллов нередко крупных размеров. Кристаллизуется в ромбической сингонии, образует таблитчатые призматические кристаллы. Характерны зернистые, пластинчатые, лучисто-волокнистые, столбчато-волокнистые и другие агрегаты. Обычно он имеет белую или светло-серую окраску, но может также обладать голубоватым, коричневатым или почти черным цветом. В барите барий иногда замещается стронцием (баритоцелестин, целестобарит), свинцом (хокутолит, англезиобарит) и кальцием (кальциобарит). Твердость его –2,5–3,5.

Основным технологическим свойством барита является большая его плотность (4,3–4,6 г/см3). Из других свойств характерны высокая адсорбционная способность к рентгеновскому излучению, нерастворимость в воде и слабых кислотах, прозрачность крупных кристаллов, высокое содержание бария, белизна, ядовитость бариевых соединений.

*Витерит* – карбонат бария (*BaCO3*), содержит 77,7 % ВаО. Кристаллизуется в ромбической сингонии, характерны короткопризматические, табличные и дипирамидальные кристаллы. Основными примесями являются стронций и кальций. В природе встречается в виде зернистых, столбчатых, почковидных, волокнистых и листоватых агрегатов. Блеск стеклянный. Твердость витерита 3–3,5, плотность – 4,3 г/см3, легко растворяется в соляной кислоте.

*Применение в промышленности.* Основным потребителем барита является нефтедобывающая промышленность (около 55–70 %). Барит используется в буровых растворах в виде порошкообразной добавки при бурении нефтепоисковых, разведочных и эксплуатационных скважин. Применение барита в этих целях объясняется его высокой плотностью, инертностью, чистотой и относительной дешевизной.

На втором месте по потреблению барита и витрита находится химическая промышленность. Химически осажденный сульфат бария представляет пигментирующий наполнитель красок, бумаги, резины, линолеума. Хлористый барий применяется в кожевенном и текстильном производстве; карбонат бария – в керамических глазурях и эмалях; оксид бария – в сигнальных ракетах и детонаторах.

Дробленый барит используется в качестве заполнителя бетона в покрытиях подводных нефте- и газопроводов в тех случаях, когда желательны высокий вес и химическая инертность данных конструкций. Этот вид использования барита будет, несомненно, возрастать по мере развития сети планируемых подводных нефте- и газопроводов.

*Типы руд.* Сырьевая база баритдобывающей промышленности представлена как собственно баритовыми, так и комплексными рудами. По минеральному составу среди собственно баритовых руд выделяют:  
1) мономинеральные; 2) кварц-баритовые; 3) флюорит-баритовые;   
4) глинисто-баритовые; 5) песчано-баритовые; 6) сульфидно-баритовые. Комплексные руды разделяются на барит-полиметаллические, редкометалльно-барит-флюорит-железорудные, барит-колчеданные. Барит из этих руд извлекается попутно.

Витеритовые руды встречаются редко. Обычно витерит в том или ином количестве присутствует в баритовых рудах, возникая в результате метасоматического замещения барита. Наиболее характерны барит-витеритовые руды.

**2. Генетические типы промышленных месторождений**

Генетически превалирующее большинство баритовых и комплексных баритсодержащих месторождений являются гидротермальными. Выделяются еще месторождения, образовавшиеся в процессе осадконакопления (хемогенные) и выветривания. Месторождения барита магматического типа отсутствуют. Это обусловлено тем, что в процессе магматической дифференциации барий, поступающий из глубинных очагов, рассеивается, изоморфно замещая калий в породообразующих и акцессорных минералах, не образуя промышленных скоплений.

Среди всего разнообразия баритовых месторождений выделяются три основных типа: 1) жильный; 2) стратиформный; 3) песчано-валунный в корах выветривания.

*Жильный тип* объединяет эпигенетические гидротермальные жилы, неправильные тела, линзы и зоны брекчирования, образовавшиеся путем выпадения барита из гидротермальных растворов. Отдельные жилы прослеживаются по простиранию до 1–2 км. Мощность жил и линз варьирует от сантиметров до нескольких метров, изредка до 10–20 м. Минерализованные зоны брекчирования представлены обломками вмещающих пород, сцементированных баритом и витеритом. Наиболее характерны баритовые, барит-витеритовые, барит-сидеритовые, кварц-баритовые и кварц-кальцит-баритовые жилы. Классическими представителями этого типа являются месторождения Елы-Су и Арпакленское в Туркмении, Дрождяк, Златник и Запаленица в Чехии, Чордская и Кутаисская группа месторождений в Грузии и др.

*Стратиформный тип* представлен согласными пластовыми и линзовидными залежами барита в осадочных и вулканогенных породах. Среди них имеются месторождения как хемогенно-осадочного, так и гидротермально-метасоматического генезиса. Размеры баритовых залежей достигают нескольких квадратных километров, мощность – до 15–20 м, содержание барита высокое (50–95 %). К рассматриваемому типу принадлежат месторождения в штатах Невада и Арканзас (Магнет-Ков), Баллино (Ирландия), Апшринское (Грузия), Джалаирское (Казахстан) и др.

*Песчано-валунный тип месторождений кор выветривания* включает остаточные залежи элювиальных и делювиальных глин с обломками барита. Величина баритовых обломков по размерности колеблется от песчаных до валунных и глыбовых. Месторождения этого типа широко распространены в штатах Миссури и Джорджия, в России данный тип представлен Медведевским месторождением на Урале.

*Геология месторождений барита.* В СНГ одним из крупнейших является *Апшринское месторождение* барита. Оно расположено в Грузии, в пределах Абхазского хребта (севернее г. Сухуми). Приурочено к юго-западному крылу Апшринской антиклинали. Центральная часть этой структуры выполнена вулканогенно-осадочными породами байоса (порфириты, туфы, туфопесчаники), а юго-западное крыло – терригенно-карбонатными отложениями верхней юры.

Продуктивными являются массивные известняки, в которых неравномерно развита баритовая минерализация и сопровождающая ее доломитизация. В пределах рудного поля эти известняки обнажаются в виде полосы, вытянутой на 5 км. На месторождении мощность рудной толщи составляет 20–40 м, она прослеживается по простиранию на 800 м и по падению на 250 м (под углом 15–30 о). Рудная залежь осложнена крутопадающими сбросами с амплитудами смещения блоков в десятки метров.

Руды преимущественно барит-карбонатные. Главные минералы – барит и доломит, второстепенные – сидерит, халцедон, кварц, кальцит, редкие – арагонит, гематит, пирит, марказит, халькопирит, киноварь. Среднее содержание BaSO4 в промышленных рудах составляет 48,6 %, количество стронция варьирует от 0,006 до 1,0 %. Месторождение разрабатывается открытым способом. Руды подвергаются флотационному обогащению.

*Месторождение Магнет-Ков* является наиболее крупным в США. Оно расположено в штате Арканзас близ восточного окончания гор Уошито. Приурочено к восточной части синклинальной складки, опрокинутой на северо-запад. Породы интенсивно трещиноваты, наблюдаются также малоамплитудные тектонические нарушения. Возраст развитых на месторождении пород складчатой толщи – ордовикско-пенсильванский. Пластово-метасоматические тела барита приурочены к нижней части формации глинистых сланцев Стэнли (пенсильваний-миссисипий). Разрез формации Стэнли сложен темноцветными тонкорассланцованными глинистыми сланцами с моногочисленными прослоями тонкозернистых песчаников в нижней ее части.

В плане месторождение барита имеет подковообразную форму с протяжностью от вершины этой подковы до любого конца ее около 1,2 км. На крыльях складки мощность баритоносной зоны составляет 9–17 м, но в замке синклинали она увеличивается до 35 м и более. Нижний контакт баритоносной зоны с глинистыми сланцами или песчаниками резкий, тогда как в кровле баритоносная зона постепенно сменяется вышележащими породами.

Мощность отдельных пластов барита, которые разделены не заместившимися прослоями глинистых сланцев или песчаников, колеблется от 2 до 7,5 см. В свежем состоянии барит имеет серую окраску, обладает плотным сложением, напоминая плотный кристаллический известняк. Барит, залегающий неглубоко от земной поверхности, имеет характерную пластинчатость, ориентированную параллельно поверхности напластования. К плоскостям напластования приурочена рассеянная вкрапленность мелких кристаллов пирита. Содержание его в баритовых рудах на отдельных участках достигает 4 %.

В качестве источника магматогенных гидротермальных растворов предположительно рассматривается округлый шток нефелиновых сиенитов (интрузив Магнет-Ков), расположенный примерно в 3 км к западу от баритового месторождения. В составе исходных пород этого интрузива содержание ВаО составляет около 0,3 %.

Месторождение разрабатывается открытым способом. Производится валовая выемка горной массы, в которой содержится около 70 % барита. Пустые породы представлены кварцем, глинистыми сланцами и оксидами железа. После тонкого помола и флотации получают порошок с содержанием барита 98 % и плотностью 4,4 г/см3.

**6.3 Магнезит и брусит**

1. Общие сведения и применение в промышленности

2. Генетические типы промышленных месторождений

**1. Общие сведения и применение в промышленности**

Магнезит представляет собой карбонат магния *MgCO3*. Как член изоморфной группы минералов, в которую входят кальцит и доломит, он кристаллизуется в гексагональной сингонии и обладает спайностью по ромбоэдру. Теоретически магнезит состоит из 47,8 % *MgO* и 52,2 % *СО2.* Практически в нем всегда содержатся разные количества оксидов железа, кальция, алюминия, марганца и кремния. Иногда в ассоциации с магнезитом присутствует гидромагнезит – *Mg[(OH)2 (CO3)4]×4H2O.*

Выделяются два типа природного магнезита: кристаллический и криптокристаллический (аморфный). Кристаллический магнезит образует обычно зернистые агрегаты с размерами кристаллов от долей миллиметра до 1 см. Характерны полосчатые, радиально-лучистые и массивные текстуры. Цвет его белый, серый и желтоватый, твердость 3,5–4,0, плотность 3,02 г/см3. Криптокристаллический магнезит обычно белого цвета и фарфоровидного облика. Образует, как правило, натечные гроздевидные формы, имеет раковистый излом. В отличие от кристаллического магнезита обладает более высокой твердостью (3,5–5,0) и меньшей плотностью 2,9–3,0 г/см3).

Брусит – гидрооксид магния *Mg(OH)2,* частично замещается *Fe2+* (ферробрусит) или *Mn2+* (манганбрусит). Он кристаллизуется в тригональной сингонии, габитус кристаллов таблитчатый и игольчатый. Твердость – 2,5, плотность – 2,4 г/см3. Слагает почти мономинеральные волокнистые, листоватые и зернистые агрегаты белого цвета с зеленоватым или коричневатым оттенками. Образуется за счет магнезита под воздействием низкотемпературных гидротермальных растворов:

*MgCO3 + H2O → Mg(OH)2 + CO2*

*магнезит брусит*

*Применение в промышленности*. Сырой магнезит используется в основном для получения «каустического магнезита» и огнеупорной магнезии («намертво обожженный магнезит»). В результате обжига при температуре 700–1000 о С магнезит теряет большую часть углекислоты и превращается в порошкообразную массу («каустический магнезит»). При повышении температуры обжига до 1450–1750 о С углекислота исчезает полностью и образуется так называемый «намертво обожженный магнезит» (металлургический магнезит, зинтермагнезит, искусственный периклаз).

*Типы руд.* Выделяются руды, сложенные кристаллическим магнезитом, и руды, представленные аморфным магнезитом. Бруситовые руды сложены бруситом (до 80–90 %) с примесью доломита, кальцита и серпентина. Наиболее широкое распространение имеют руды кристаллического магнезита (содержание MgCO3 до 95–98 %, основные примеси – доломит, кальцит, тальк, кварц и др.).

Разработка месторождений магнезита осуществляется открытым способом при мощности рудного тела не менее 1 м и коэффициенте вскрыши не более 2. Странами-лидерами по добыче магнезита являются Чехия, Россия, США, Китай, КНДР и Австрия.

**2. Генетические типы промышленных месторождений**

*Генетические типы промышленных месторождений.* Промышленные месторождения магнезита представлены двумя основными генетическими типами – гидротермальным метасоматическим и инфильтрационным. *Гидротермальные метасоматические месторождения* относятся к среднетемпературным и возникли в результате воздействия магнезиальных гидротермальных растворов на доломиты и известняки. Характерны пласты, линзы и гнезда кристаллического магнезита. Размеры залежей по простиранию достигают 1–2 км, по мощности – 400–500 м и более. Для руд этих месторождений типичны полосчатые, звездчатые и радиально-лучистые текстуры. К этому типу относятся многие месторождения на Южном Урале (Саткинское, Белорецкое и др), в Восточном Саяне (Савинское, Онотское), в Австрии, Чехии, Китае и других странах.

*Инфильтрационные месторождения* связаны с массивами серпентинизированных ультраосновных пород, подвергшимися латеритному выветриванию. Магнезия переходила в раствор и переносилась в зону грунтовых вод нижних горизонтов коры выветривания, где и отлагалась по трещинам в слабо разрушенных серпентинитах в виде скрытокристаллического магнезита:

*H4Mg3Si2O9 + 2H2O + 3CO2 → MgCO3 + 2SiO2 + 4H2O.*

*серпентин магнезит*

Скопления магнезита имеют форму небольших гнезд, линз и пересекающихся под разными углами жил мощностью 0,2–0,3 м (изредка до 1–2 м), формирующих иногда штокверки. Мощность штокверков обычно не превышает 40 м. Для месторождений этого типа характерен парагенезис магнезита с опалом. К этому типу относятся месторождения на восточном склоне Среднего и Южного Урала (Халиловское), в Закавказье (Севанская группа месторождений), в Казахстане (Северное Прибалхашье), Канаде, Китае.

Важнейшим геолого-промышленным *типом месторождений брусита* являются неправильные тела бруситов и бруситовых мраморов контактово-метаморфического генезиса среди толщ доломитов вблизи контактов с интрузивами гранитоидов (Кульдурское месторождение в Хабаровском крае, месторождения бруситовых мраморов в Канаде).

**Раздел 7 Индустриально-камнесамоцветное сырье**

**7.1 Алмазы**

1. Общие сведения

2. Генетические типы промышленных месторождений

3. Алмазоносность территории Беларуси

**1 Общие сведения**

*Алмаз* – природная полиморфная модификация углерода, кристаллизующегося в кубической сингонии. Характерны октаэдрические, кубические и тетраэдрические кристаллы. Грани кристаллов алмаза редко бывают плоскими и гладкими, чаще они выпуклые и покрыты фигурами роста или растворения в виде разнообразной формы выступов и углублений. Имеет идентичный с графитом химический состав. Алмаз, благодаря более плотному расположению своих атомов в кристаллической решетке, резко отличается от него своими свойствами: обладает наибольшей твердостью из всех известных в природе минералов (10 по шкале Мооса), высоким показателем преломления (2,42), сильной дисперсией (0,057–0,063) и углом полного внутреннего отражения. Алмаз обладает совершенной спайностью по октаэдру, что обусловливает его хрупкость. Благодаря своим оптическим свойствам он имеет так называемый алмазный блеск и исключительную игру цветов.

Алмаз нерастворим в кислотах и щелочах, а поэтому является весьма устойчивым минералом. Он хорошо проводит тепло и плохо – электричество. Плотность алмаза составляет 3,52 г/см3, температура плавления –   
3700–4000 о С, температура сгорания на воздухе – 850–1000 о С. При нагревании до 1200 – 1500 о С без доступа воздуха алмаз переходит в графит. В ультрафиолетовых и рентгеновских лучах и при ионной бомбардировке он люминесцирует.

Алмазы бывают бесцветные и прозрачные («чистой воды»), бесцветные с голубым, зеленым, желтым, розовым, коричневым и другими оттенками и окрашенные («фантазийные») – синие, зеленые, желтые, красные. В кристаллах алмаза нередко наблюдаются различные примеси: твердые, жидкие и газообразные. Наиболее часто встречающиеся твердые примеси – графит, пироп, магнезит, оливин и др.

В метеоритах и импактитах иногда наблюдается редкая мелкокристаллическая гексагональная разновидность алмаза – *лонсдэлеит*. Цвет его сероватый, блеск алмазоподобный, плотность 3,2 г/см3.

*Виды алмазного сырья.* Существует два вида алмазного сырья: ювелирные и технические алмазы. *Ювелирные алмазы* – это относительно крупные кристаллы совершенной формы, окраски, исключительной прозрачности, без трещин, включений и т. д. Масса их измеряется в каратах (1 карат равен 0,2 г). Минимальная масса ювелирных алмазов составляет 0,05 карата. Крупными считаются камни более 10 каратов. Если масса алмаза превышает 50 каратов, то ему присваивается название. Самый крупный в мире алмаз Куллинан (масса 3 106 карат, размеры 10 х 6,5 х 5 см) голубого цвета был обнаружен в 1905 г. в южноафриканской трубке Премьер.

*Алмазы технические* разделяются на четыре сорта: борт, баллас, карбонадо и конго. Борт – это мелкие, сильноокрашенные, трещиноватые или разрушенные кристаллы, которые непригодны для ювелирных изделий. Баллас – очень прочные и крепкие зернистые агрегаты темных кристаллов с радиальной структурой. Карбонадо («уголь» или «черный алмаз») – очень крепкий, прочно связанный агрегат мелких (обычно черного цвета) кристалликов алмаза. Конго – наиболее низкосортные мелкие алмазы, пригодные лишь в качестве абразивного материала.

Дефицит алмазного сырья привел в 1950-х гг. к появлению их синтетических аналогов. Мелкие зерна технических алмазов получают из графита при высокой температуре и давлении в присутствии металлических катализаторов. Производство их в значительных масштабах налажено в США, России, ЮАР, Японии, Швеции и некоторых других странах.

*Применение в промышленности.* Ювелирные алмазы используются для изготовления всевозможных ювелирных изделий. Крупные алмазы распиливают, подвергают огранке и шлифовке. Наиболее распространенные формы огранки – бриллиантовая, ступенчатая и др. Ограненные алмазы носят название бриллиантов.

*Технические алмазы* применяются для изготовления буровых коронок, необходимых при бурении твердых горных пород. Они используются для изготовления всевозможных сверл, резцов, подшипников, фильер для волочения проволоки и т. д. В настоящее время более 75 % всех технических алмазов идет на получение порошка и на изготовление шлифовальных кругов, дисковых пил и др. Объемы и области применения алмазов в технике возрастают из года в год. Они используются в электронной, авиационной, космической и других отраслях.

*Добыча и производство.* Основная часть алмазов добывается из кимберлитов посредством шахт и открытым способом из россыпей. В Намибии организована добыча алмазов из подводных морских россыпей.

В настоящее время около 70 % стоимости добытых в мире алмазов приходится на Африку. Странами-лидерами по добыче природных алмазов (млн кар) являются: Австралия – 41,99; Заир – 22,24; Ботсвана – 17,71; ЮАР – 9,88.

**2. Генетические типы промышленных месторождений**

*Генетические типы промышленных месторождений.* Алмазы встречаются в месторождениях двух генетических типов: 1) собственно магматических и 2) россыпях.

*Собственно магматические* месторождения алмазов тесно связаны с продуктами платформенного магматизма – кимберлитами и лампроитами, представляющими своеобразные изверженные породы ультраосновного состава. Они выполняют так называемые трубки взрыва – конусообразные тела, которые в плане обычно имеют эллипсовидную форму. В строении трубок взрыва различают кратерную, диатремовую и канальную части. Кратерные части трубок обычно выполнены обломочным материалом, поступившим с их бортов. В разрезах многих трубок они обычно эродированы. Диатремовые части нередко сложены кимберлитами или лампроитами нескольких генераций и их туфами, а также обломками самых различных пород, прорванных трубками взрыва. Канальные части выполнены массивными или флюидальными кимберлитами с отчетливым ороговикованием в экзоконтактах.

Кимберлиты обычно представляют собой серпентинизированную и карбонатизированную ультраосновную породу с повышенным содержанием щелочей (калий преобладает над натрием), глинозема и титана и имеющую порфировую либо кластически порфировидную структуру с вкрапленниками оливина в окружении тонкозернистого агрегата серпентина, талька, кальцита, перовскита, флогопита, магнетита, ильменита и других минералов. Характерно присутствие ксенолитов – вмещающих пород, автолитов – округлых включений кимберлитов ранних генераций, а также типоморфных акцессорных минералов (пиропа, хромдиопсида, хромшпинелида, пикроильменита, энстатита и др.). В лампроитах значительно повышается роль калия и появляется лейцит.

Вблизи земной поверхности кимберлит подвергается выветриванию и в условиях теплого влажного климата разрушается, гидратируется и приобретает при этом темную синевато-зеленоватую окраску («синяя земля»). В процессе дальнейшего разрушения и окисления кимберлит превращается в дезинтегрированную землистую массу, окрашенную гидрооксидами железа в желтоватый цвет («желтая земля») с зернами граната, хромшпинелидов и других устойчивых минералов, в том числе алмаза. В южноафриканских трубках мощность зоны «синей земли» может достигать 60 м, а зоны «желтой земли» – до 20 м. В условиях арктического климата элювий кимберлитов представлен слоем щебенки мощностью до   
3–5 м.

Размеры кимберлитовых трубок разнообразны – от нескольких десятков до нескольких сотен метров в поперечнике. Самой крупной является кимберлитовая трубка Мвадуи в Танзании, размер которой на поверхности составляет 2,52×1,07 км. Глубина разработки кимберлитовых трубок составляет сотни метров, изредка до 1000 м. Очень богатые трубки содержат 3–4 карата на 1 т кимберлита. Содержание алмазов в трубках с глубиной, как правило, снижается. В ЮАР минимальное промышленное содержание алмазов в трубках составляет около 0,1 кар/т. Наиболее высокие концентрации алмазов обычно наблюдаются в самой верхней выветрелой зоне («желтой земле»). Промышленные алмазоносные трубки известны в ЮАР (Премьер, Де-Бирс, Кимберли, Ягерсфонтейн, Хелам и др.), Лесото (Као, Летсенг-ла-тераи), Ботсване (Орапа), России (Мир, Зарница, Удачная и др.), Австралии (АК-1, Эллендейл-6, Калвиньярдах, Скерринг, Хадфилс и др.) и ряде других стран.

*Россыпные месторождения алмазов* более широко распространены, чем месторождения кимберлитовых трубок. Среди них выделяются современные и древние россыпи. Основное промышленное значение имеют современные аллювиальные и морские россыпи. В аллювиальных россыпях алмазы концентрируются в галечниках, гравелитах и песках. Протяжность таких россыпей может достигать нескольких десятков километров, концентрации алмазов – десятки каратов в 1 м3 песков. Классическим районом распространения современных россыпей являются Касаи-Лунда (верхнее и среднее течение р. Касаи и ее притоков в Анголе и Заире), Западная Африка (Гана, Сьерра-Леоне, Гвинея, Мали), долины рек Смоук-Крик и Лаймстон-Крик в Западной Австралии.

*Условия образования.* Вопрос об образовании алмазов в трубках взрыва является пока не полностью решенным. По экспериментальным и теоретическим данным инверсионная кривая графит-алмаз достигает значений в 35 кБар и 800 о С, что соответствует глубинам около 100–110 км на континентах (это принимается за верхнюю границу кристаллизации алмаза). В связи с этим большинство геологов связывает образование алмазов с мантийными условиями за счет углеводородов. Ряд исследователей полагают, что кимберлиты могли формироваться на глубине 3–5 км в промежуточных магматических камерах щелочно-ультраосного магматизма, а алмазы в них кристаллизовались за счет свободного углерода либо углекислоты с участием сульфидов железа в качестве катализаторов.

*Эпохи кимберлитового магматизма.* В *докембрийскую эпоху* алмазоносные кимберлиты не получили широкого распространения. В Африке рифейскими считаются трубки Премьер и аналогичные, но менее известные Шуллер, Мотрез, Франспорт и некоторые другие. Кимберлиты трубки Премьер имеют возраст 1,4 млрд лет. Рифейскими являются крупнейшие трубки Западной Австралии (Аргайл), Индии (Инота, Маджгаван).

В *раннепалеозойскую эпоху* алмазоносные магматиты формировались на Сибирской, Южно-Китайской и Африканской платформах. На Сибирской платформе в «салаирскую» фазу мощного корообразования и кимберлитового магматизма образовались трубки Монтичеллитовая и Дружба, в «таконскую» фазу – трубки Мир, Коллективная, Светлая, Загадочная, Комсомольская, Новинка, Рассвет и др. На Южно-Китайской платформе раннепалеозойские диатремы и дайковые тела кимберлитов достоверно установлены в среднем течении р. Янцзы. В Африке известно кимберлитовое поле Венеция Северного Трансвааля (ЮАР). Две трубки этого поля разрабатываются, содержание алмазов в них – около 1 кар/т.

В *позднепалеозойскую эпоху* выделялись два пика алмазоносного магматизма: 1) средне-позднедевонский и 2) раннекаменноугольный. В среднем и позднем девоне формировались диатремы Золотицкого поля Архангельской области, Приазовья, большинства районов Сибирской платформы, а также кимберлитовые тела Китайско-Корейской и Южно-Китайской платформ. В пределах Китайско-Корейской платформы выявлено девять кимберлитовых полей. В раннем карбоне продолжал проявляться кимберлитовый магматизм на севере Архангельской области, в Якутской алмазоносной провинции и в пределах Китайско-Корейской платформы (Восточно-Китайский палеорифт).

В *мезозойскую эпоху* установлены три пика кимберлитового магматизма: 1) позднетриасовый-раннеюрский; 2) раннемеловой;   
3) позднемеловой. В позднем триасе–ранней юре проявился кимберлитовый магматизм в Калахарийской алмазоносной провинции (трубки Финш, Свартрюгенс, возраст их 130–170 млн лет). Юрскими являются многочисленные трубки в Сьерра-Леоне, Гвинее, Либерии, Кот д` Ивуаре, большинство диатрем Канады (в том числе алмазоносная площадь Лак-ле-Гра). В позднем триасе-юре формировались диатремы Средне-Оленекского района. С раннемеловым магматизмом связано образование кимберлитовых трубок в Конго, ЮАР (трубки Робертс Виктор, Нью-Эландс и др.), Канаде (провинция Саскачеван), России (Беенчиме-Куойкское поле в Якутской алмазоносной провинции). В позднем мелу формировалась часть диатрем в Зимбабве, ЮАР, США и Китае.

В *кайнозойскую эпоху* интенсивно проявлялся кимберлитовый и лампроитовый магматизм на западе Австралии. Возраст алмазоносных лампроитов калий-аргоновым методом датируется в 18–23 млн лет. Известно около 100 интрузивов. Часть диатрем алмазоносна. На Южно-Китайской платформе с «гималайским орогенным циклом» связано становление кимберлитовых жил группы Тумен (провинция Хунань).

*Геология алмазоносных провинций.* Одной из крупнейших в мире является *Западно-Австралийская алмазоносная провинция.* Она находится в пределах Северо-Австралийского щита – в зоне складчатых структур, окаймляющих с юго-запада и востока архейский кратон Кимберли. Здесь выявлены три рудных района: Северный Кимберли, Восточный Кимберли (Аргайл) и Западный Кимберли.

Особенностью этой провинции является широкое развитие промышленно алмазоносных диатрем, представленных лампроитами – щелочными породами, в составе которых помимо оливина, флогопита и лейцита присутствуют диопсид, шпинелиды переменного состава, ильменит, циркон и другие минералы. Гранаты в лампроитах исключительно редки. Лампроиты в отличие от кимберлитов характеризуются повышенной калиевостью (К2О от 4 до 12 %) и кремнекислотностью, но пониженной магнезиальностью.

Основное промышленное значение имеет Восточный Кимберли (Аргайл). Здесь выявлены как лампроитовые, так и кимберлитовые тела. Морфологически они представляют трубки (штоки, силлы, дайки), прорывающие метаморфические протерозойские толщи, а также палеозойско-мезозойские образования. Площадь трубок на земной поверхности достигает до 10,01–1,3 км2. Они, как правило, не эродированы.

**3. Алмазоносность территории Беларуси**

*На территории Беларуси было выделено семь перспективных в отношении алмазоносности районов*: Северо-Припятский, Витебский, Мядельский, Полоцкий, Бобовнянский, Полесский и Брестский.

Поиски месторождений алмазов на территории Беларуси проводились в основном в пределах *Северо-Припятского перспективного района* на Жлобинской седловине и на северном плече Припятского прогиба, где было разбурено около тридцати диатрем. Трубки взрыва выполнены вулканокластическими породами щелочного ряда с подчиненным развитием собственно магматических (субвулканических, гипабиссальных) разностей того же состава (щелочные пикриты, мелилититы, ультраосновыные фоидиты). Все эти породы не являются потенциально алмазоносными. Перспективных в алмазоносном отношении кемберлитов и лампроитов в изученных диатремах не установлено. Эти породы явдяются образованиями малых глубин: глубины выплавки этих пород по геохимическим данным составляют 35–50 км, в то время алмазы формируются и сохраняются в термодинамических условия глубин, превышающих 150 км.

В алмазоносных районах мощность литосферы составляет 190–200 км и более. С позиции данного критерия территории Припятского палеорифта, его плеч и Жлобинской седловины, где мощность литосферы не превышает 100–140 км, бесперспективны в алмазоносном отношении.

В Беларуси изученные трубки взрыва также имеют девонский возраст. Следовательно, и на территории Беларуси промышленную алмазоносность следует связывать с девонскими диатремами. Поэтому на территории Беларуси перспективной в алмазоносном отношении следует считать восточную часть, где в разрезе присутствуют девонские отложения. Западная часть Беларуси, в том числе Брестский, Полесский и Бобовнянский районы, где четвертичные отложения перекрывают рифейские, вендские, нижнепалеозойские отложения и фундамент, бесперспективны на поиски алмазоносных девонских трубок взрыва.

Бесперспективность в алмазоносном отношении Северо-Припятского района доказана бурением. Следовательно, с позиций этого критерия перспективными на поиски алмазов можно считать только Витебский, Полоцкий и Мядельский районы.

Согласно правилу Клиффорда все месторождения алмазов в кимберлитах контролируются кратонами со временем стабилизации не менее 2,5 млрд. лет. На территориях с протерозойским возрастом фундамента диатремы, выполненные кимберлитами, пустые, алмазоносными являются диатремы, выполненные лампроитами, но они встречаются на порядок реже.

*Мядельский, Бресткий и Полесский перспективые районы* расположены в пределах Белорусско-Прибалтийского гранулитового пояса, который является окраиной палеопротерозойской Фенноскандии. Полоцкий перспективный район расположен на территории Центрально-Белорусской сутурной зоны с палео-мезопротерозойским фундаментом, которая разделяет палеопротерозойскую Фенноскандию на западе и архейскую Сарматию на востоке. Поэтому с позиций правила Клиффорда они бесперспективны на поиски месторождений алмазов в диатремах, выполненных кимберлитами. Поэтому эти районы с позиций данного критерия следует признать малоперспективными в алмазоносном отношении.

*Витебский перспективный район* расположен на северо-западе архейского Сарматского кратона в пределах его активной окраины андийского типа, образованной в палео-мезопротерозое в процессе субдукции под архейский кратон со стороны Центрально-Белорусской сутурной зоны.

Установлено, что алмазоносные кимберлитовые трубки взрыва на древних платформах формировались над зонами палеосубдукции протерозойской океанической коры под архейские кратоны. С этих позиций активная окраина архейского Сарматского кратона в пределах Осницко-Микашевичского пояса, образованная в процессе субдукции под кратон со сторону Центрально-Белорусской сутурной зоны, перспективна в алмазоносном отношении.

На южную часть активной окраины Сарматского кратона (южную часть Осницко-Микашевичского пояса) наложена Припятская зона рифтогенеза и в процесс рифтогенеза алмазоносный протолит был уничтожен. Поэтому эта часть активной окраины Сарматского кратона, как и показали безуспешные результаты поисковых работ на алмазы в Северо-Припятском районе, бесперспективна в алмазоносном отношении. Следовательно, из всех районов самым перспективным является Витебский район.

Более высокие перспективы алмазоносности Витебского перспективного района по сравнению с другими перспективными районами обусловлены рядом факторов. Положительным фактором является низкий тепловой поток равный 25‑30 мВт/м2, так как алмазоносными являются холодные блоки земной коры. Для Витебского района характерна увеличенная до 47,5‑55 км мощность земной коры и типы земной коры А и АВ с увеличенной мощностью нижнего базальтового слоя и, следовательно, с высоким (до 0,7‑0,75) коэффициентом основности, что характерно для алмазоносных блоков.

Витебский перспективный район находится в зоне пересечения древних субмеридиональных разломов Чашникского, Бешенковичского, Богушевского, Витебского, Руднянского с зоной разломов позднепротерозойского заложения северо-восточного простирания, которые входят в систему Средне-Русского позднепротерозойского палеорифта. В подобной тектонической ситуации выявлены алмазоносные трубки взрыва на севере Восточно-Европейской платформы в Архангельской алмазоносной области, где алмазоносные трубки взрыва девонского возраста контролируются субмеридиональными разломами, наложенными на позднепротерозойские разломы северо-западного простирания.

На карте линеаментов Беларуси четко выделяются линеаменты северо-восточного и субмеридионального простирания, отражающие разломы соответствующего простирания.

Участки резкого изменения течения рек являются зонами пересечения разломов, иногда со сдвиговой компонентой, и как зоны высокой проницаемости земной коры они контролируют диатремы. Поэтому участки резкого изменения течения Днепра в районе Могилева, Шклова, Орши, Дубровно, Западной Двины в районе Бешенковичей, Витебска, Суража и других участках могут быть зонами пересечения разломов и представлять интерес для поисков диатрем и месторождений алмазов.

Установлена связь диатрем с кольцевыми структурами, выделяемыми при дешифрировании аэрокосмоснимков.

На территории Витебского перспективного района на основе дешифрирования космоснимков выделена Витебская кольцевая структура первого порядка с поперечником около 200 км. В ее пределах интерес в алмазоносном отношении могут представлять более мелкие кольцевые структуры, тяготеющие к центру кольцевой структуры первого порядка. Это Сенненская структура второго порядка диаметром около 60 км и в ее пределах более мелкие Залесская и Станьковская кольцевые структуры, Лучосенская структура третьего порядка и в ее пределах более мелкие Богушевская и Ромальдовская структуры, а также Мишковичская, Кокорская, Быковская, Савченковская, Богушевская, Костелевская, Воронянская и другие кольцевые структуры четвертого порядка. На территории Оршанской впадины выделяются многочисленные линеаменты и участки их пересечения, которые рассматриваются как локальные зоны аномальной проницаемости земной коры. В этом районе в междуречье Западной Двины и Днепра и прилегающих районах необходимо провести детальное дешифрирование аэро и космоснимков с выделением кольцевых аномалий второго и третьего порядка. Среди них наиболее перспективными и первоочередными следует считать те, в пределах которых пересекаются линейные аномалии, особенно если по ним намечаются сдвиги, а характер трещиноватости изотропный.

В южной части Витебского перспективного района интерес в алмазоносном отношении может представлять Шкловско-Горецкая площадь с массой аномалий трубочного типа, расположенная на пересечении Стоходско-Могилевского и Одесско-Гомельского разломов в районе Центрально-Оршанского горста. При бурении на Кулажинских магнитных аномалиях в подошве четвертичных отложений были установлены магнитные глинисто-песчаные породы, залегаюшие на деформированном палеоген-неогеновом основании. В них установлены бледно-розовые неокатанные и изредка полуокатанные гранаты с высоким содержанием *Fe2О3* (11–34 %) и *Al2О3* (10–18 %), аномальным содержанием хрома, никеля, титана, ванадия, и они рассматриваются как продукты переотложения коры выветривания ультраосновных и основных пород. Такие породы могут быть только продуктами размыва ультраосновных и основных пород трубок взрыва, прорывающих девонские отложения. Находки алмазов и пиропов алмазной ассоциации в четвертичных отложениях Оршанской впадины можно рассматривать как доказательство алмазоносности таких диатрем. Эти продукты разрушения алмазоносных трубок взрыва в основании четвертичной толщи также могут быть алмазоносными: в них могут быть россыпные месторождения алмазов.

**7.2 Камнесамоцветное сырье**

1. Классификация камнесамоцветов и применение в промышленности

2. Генетические типы промышленных месторождений

**1. Классификация камнесамоцветов и применение в промышленности**

Под термином «цветные камни», или «камнесамоцветное сырье», понимается разнообразная и обширная группа минералов и горных пород (в том числе органического происхождения и синтетические аналоги), обладающих специфическими эстетическими, техническими и экономическими свойствами, предопределившими их практическое использование. К этой группе относятся все минералы и породы, которые в литературе известны под наименованием самоцветы, драгоценные, полудрагоценные, декоративные, благородные, ювелирные, поделочные, ювелирно-поделочные и другие камни, а также их искусственные аналоги и имитации. Изучением камнесамоцветного сырья и их генезиса занимается специальная научная дисциплина – геммология.

*Классификация камнесамоцветного сырья.* В зависимости от сочетания физических свойств, определяющих эстетический облик минерала, частоты его встречаемости в природе и соответственно стоимости цветные камни принято разделять на три группы: ювелирные, поделочные и ювелирно-поделочные (таблица 7.1).

Таблица 7.1 – Классификация цветных камней

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Группа** | **Порядок** | **Минерал, горная порода** |
| Первая: ювелирные (драгоценные камни) | I | Рубин, изумруд, алмаз, синий сапфир |
| II | Александрит, оранжевый, фиолетовый и зеленый сапфир, благородный черный опал, благородный жадеит |
| III | Демантоид, шпинель, благородный белый и огненный опал, аквамарин, топаз, родолит, турмалин |
| IV | Хризолит, циркон, желтый, зеленый, розовый берилл, кунцит, бирюза, аметист, пироп, альмандин, лунный и солнечный камень, хризопраз, цитрин |
| Вторая: ювелирно-поделочные камни | I | Лазурит, жадеит, нефрит, малахит, чароит, янтарь, горный хрусталь (дымчатый и бесцветный) |
| II | Гематит-кровавик, родонит, непрозрачные иризирующие полевые шпаты (беломорит и т. п.), иризирующий обсидиан, эпидот-гранатовые и везувиановые родингиты-жады |
| Третья: поделочные камни |  | Яшма, мраморный оникс, обсидиан, гагат, окаменелое дерево, лиственит, кремень рисунчатый, графический пегматит, флюорит, авантюриновый кварцит, селенит, агальматолит, цветной мрамор и т. д. |

*Применение в промышленности.**Ювелирные (драгоценные) камни* применяются для изготовления дорогих украшений. Для этих целей используются редкие, эффектные, преимущественно прозрачные кристаллы. Их отличают три основных свойства: крастота, долговечность, редкость встречаемости в природе. После обработки все драгоценные камни, за исключением алмаза, сохраняют свои названия. Масса их обычно выражается в каратах, в редких случаях – в граммах.

*Ювелирно-поделочные камни* по своим стоимостным характеристикам значительно уступают ювелирным. Они используются, с одной стороны, для изготовления всевозможной ювелирно-галантерейной продукции (кабошонов, плоских вставок и т. п.), а с другой – являются сырьем для камнерезных поделок. Физической единицей измерения сырья этой группы является килограмм.

*Поделочные камни* отличаются также яркостью окраски и всевозможной текстурой, что позволяет использовать их после соответствующей обработки. Применяются они в основном в художественной промышленности для изготовления художественно-бытовых и сувенирных камнерезных изделий (ваз, пепельниц, портсигаров), мозаики, резных камней, картин из натурального камня и т. п. Поделочные камни – великолепное сырье для художественного оформления интерьеров, облицовки, фасадов и стен дворцов, храмов и других архитектурных сооружений. В этой группе главенствующую роль играют горные породы. Сырье измеряется в центнерах и тоннах.

Цветные камни, используемые для для производства технических деталей и изделий, имеют общее название – «технические камни». Они применяются для производства мелких каменных деталей для точных приборов (подшипники, втулки, подпятники, подушки, опорные призмы, часовые камни), лабораторного оборудования (агатовые и яшмовые ступки, пестики) и в других отраслях промышленности (фильеры, гладильные валики, нитеводители и т. п.). Качество технических камней определяется однородностью строения и окраски, отсутствием трещин, полостей и включений. Естественные и синтетические технические камни используются в квантовых генераторах и усилителях (рубин, изумруд), в космических аппаратах (сапфир, берилл и др.).

*Ресурсы.* Крупные месторождения цветных камней, особенно ювелирных и ювелирно-поделочных, известны в немногих странах (таблица 7.2).

Таблица 7.2 – Ведущие страны-поставщики основных видов цветных камней на мировой рынок

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Страна** | **Основной вид цветного камня** | **Страна** | **Основной вид цветного камня** |
| Австралия | Благородный опал, сапфир, изумруд, хризопраз, родонит | Малагасийская Республика | Топаз, аквамарин, турмалин, кунцит |
| Афганистан | Лазурит, кунцит | Мозамбик | Топаз, аквамарин, турмалин, кунцит |
| Бирма (Мьянма) | Жадеит-империал, рубин, сапфир | Польша | Янтарь |
| Бразилия | Изумруд, топаз, аквамарин, турмалин, кунцит, аметист, агат, цитрин | Россия | Изумруд, топаз, берилл, демантоид, родонит, александрит, нефрит, лазурит, аметист, ама-зонит, хромдиопсид, чароит, жадеит, янтарь |
| Заир | Малахит | США | Топаз, аквамарин, турмалин, кунцит, хризолит, нефрит, агат, бирюза |
| Зимбабве | Изумруд, аметист | Таиланд | Рубин, сапфир |
| Индия | Рубин, сапфир, изумруд, агат | Танзания | Танзанит, рубин, сапфир, топаз, аквамарин, турмалин, кунцит, родонит |
| Иран | Бирюза | Уругвай | Аметист |
| Канада | Нефрит | Шри-Ланка | Рубин, сапфир |
| Китай | Бирюза, нефрит | ЮАР | Изумруд, пироп, суджилит, тигровый глаз |
| Колумбия | Изумруд | Замбия | Изумруд |

Наиболее разнообразные виды камнесамоцветного сырья имеются в России, Австралии, Бразилии, США, Танзании и ЮАР. Россия издавна славилась своими самоцветами. Однако к настоящему времени запасы многих месторождений истощены. Из числа известных самоцветов продолжают добываться топазы, изумруды, бериллы, демантоиды, александриты, родониты, саянский нефрит, байкальский лазурит. В последние 30–40 лет открыты новые месторождения цветных камней на Полярном и Приполярном Урале, Кольском полуострове, в Восточной Сибири и Приморье. Среди новых российских самоцветов, получивших известность в мире, выделяются ювелирный хромдиопсид, чароит, а также светло-зеленые, травянисто-зеленые и снежно-белые саянские и витимские нефриты, декоративный датолит-волластонит-геденбергитовый скарн Приморья, кольский амазонит, ювелирный жадеит и др.

**2. Генетические типы промышленных месторождений**

Камнесамоцветное сырье встречается почти во всех генетических типах месторождений, принадлежащих эндогенной, экзогенной и метаморфогенной сериям. Наиболее обширна группа месторождений *эндогенной серии.*

*Собственно магматические месторождения* представлены алмазами и сопутствующими им пиропами и хризолитами (прозрачная зеленая разновидность оливина) в кимберлитовых трубках, а также месторождениями магматических горных пород (лабрадорит, амазонитовый гранит и др.).

*Пегматитовые месторождения* цветных камней образовались за счет высокотемпературных растворов, богатых летучими компонентами, выделявшихся либо в процессе кристаллизации пегматитовой породы и давших изолированные, так называемые миароловые, полости, либо имеющие постмагматическое происхождение. Среди гранитных пегматитов наибольшее значение имеют хрустале- и флюоритоносные, топазо-берилловые и десилицированные пегматиты. С постмагматическими растворами связывают образование полостей растворения в пегматитовых телах и кристаллизационное выделение в них прозрачных разновидностей минералов совершенной формы. Такие полости известны как «погреба», «карманы», «занорыши». В них нередко присутствуют крупные кристаллы аквамарина, мориона, раухтопаза, аметиста, берилла, турмалина, флюорита и др. Пегматиты с драгоценными камнями известны на Урале, в Забайкалье, Казахстане, США, Бразилии, Австралии и др.

Десилицированные пегматиты связаны с ультраосновными породами, которые под воздействием газово-жидких эманаций превратились в биотитовые породы, содержащие гнездообразные скопления кристаллов изумруда, александрита и фенакита (винно-желтый прозрачный силикат бериллия). В них иногда присутствует корунд и его драгоценная прозрачная разновидность – рубин.

*Карбонатитовые месторождения* как источник камнесамоцветного сырья изучены недостаточно. С ними связаны прожилки и вкрапленники прозрачного зеленого оливина – хризолита.

*Контактово-метасоматические месторождения* камнесамоцветного сырья формировались в зоне контакта карбонатных пород с интрузивными магматическими телами. Известны крупные месторождения благородной шпинели (*MgAl2O4*), образовавшиеся на контакте гранитоидных интрузий с доломитами (Бадахшанское месторождение в Таджикистане). Благородная шпинель находится в парагенезисе с гранатом, диопсидом и другими минералами.

*Альбитит-грейзеновые месторождения* связаны с апикальными выступами массивов кислых и щелочных гипабиссальных пород, подвергшихся постмагматическому щелочному метасоматозу. В месторождениях этого типа распространены топаз, берилл, турмалин, аквамарин, флюорит, циркон, кварц и др.

*Гидротермальные (высоко- средне- и низкотемпературные) месторождения* являются источником получения разнообразного камнесамоцветного сырья (флюорит, аметист, дымчатый кварц, турмалин, халцедон, агат, исландский шпат и др.). Они формировались в результате воздействия жидких растворов, циркулировавших в земной коре и участвовавших в процессах перемещения и отложения минеральных веществ. К этой группе относятся знаменитые месторождения Мурзинского района Среднего Урала – копи Мурзинка, Ватиха и другие, месторождения агата в эффузивных породах (Грузия, Армения).

С *метаморфогенной серией* связаны месторождения граната, поделочных джеспилитов, микрокварцитов и других пород. При контактовом метаморфизме, часто сопровождаемом десиликацией, образуются изумруды, сапфиры, рубины, благородная шпинель, лазурит. В штоках измененных ультраосновных пород нередко наблюдаются скопления нефрита и жадеита. Метаморфогенное происхождение имеют исключительно богатые по текстуре и окраске поделочные яшмы. Особенно знаменит яшмами Южный Урал, где выявлено около 100 месторождений пестроокрашенной яшмы.

В *составе экзогенной серии* выделяются три группы месторождений: *выветривания, россыпная и осадочная.*

*Месторождения выветривания* представлены элювиальными и делювиальными россыпями драгоценных и поделочных камней, а также остаточными образованиями кор выветривания, в которых происходило формирование стяжений и прожилков благородного опала (месторождения Австралии). При выветривании полевошпатовых пород в присутствии солей меди и фосфора образовались прожилки, корочки и вкрапленники бирюзы *CuAl6[(OH)2PO4]4×4H2O* (Бирюзаканское и Тасказганское месторождения в Средней Азии). В зонах окисления меднорудных и железорудных месторождений возникали скопления малахита и азурита.

*Россыпные месторождения* представляют рыхлые или сцементированные скопления обломочного материала, содержащие стойкие в химическом отношении минералы (алмаз, рубин, сапфир, топаз, гранат, горный хрусталь и др.).

*Осадочные месторождения* возникают в процессе осадконакопления на дне различных водоемов (озера, моря, болота и т. д.). Среди них наибольшее значение имеют механические и биохимические осадки, реже химические. Механические осадки образуются за счет размыва коренных отложений или древних россыпей. С ними могут быть связаны месторождения алмазов, гранатов, янтаря и др. К биохимическим месторождениям относят древние накопления поделочных углей (гагат и сапропелит), современные образования (кораллы, жемчуг). Химические осадки представлены гипсом и ангидритом.

*Геология месторождений самоцветов.* На мировом рынке цветных камней ведущее место наряду с алмазом и изумрудом занимает *благородный корунд* (Al2O3), и в частности его разновидности – рубин и сапфир. Благородный корунд кристаллизируется в тригональной сингонии: кристаллы имеют бочонковидную, столбчатую, пирамидальную и иные формы. Твердость его 9 (по шкале Мооса). Химически чистый корунд –бесцветный. Красная разновидность корунда (рубин) обусловлена примесью хрома, а синяя, голубая, зеленая разновидность (сапфир) – примесью титана.

Главным промышленным типом месторождений благородного корунда являются элювиально-делювиальные и аллювиальные россыпи. Они широко представлены в Таиланде, Мьянме, Индии, Шри-Ланке и некоторых других странах. Коренные источники этих месторождений весьма разнообразны: гнездовая и акцессорная вкрапленность кристаллов рубина и сапфира в базальтах (Таиланд, Камбоджа, Австралия), в скарнах (Шри-Ланка, Мьянма), слюдяных грейзенах (месторождение Умба в Танзании), в пегматитах (Урал, Канада) и др.

*Перспективы выявления камнесамоцветного сырья в Беларуси.* Эта группа минерального сырья в Беларуси является наименее изученной. Имеются перспективы выявления драгоценных (алмаз, рубин), ювелирно-поделочных (янтарь) и поделочных камней (гипс, ангидрит, кремень рисунчатый, мрамор и др.). В настоящее время выявлено относительно крупное месторождение янтаря Гатча, расположенное в Жабинковском районе Брестской области. Прогнозные ресурсы янтаря по категории Р1 составляют 16,4 т при среднем содержании янтаря 34,1 г/м3, а общие ресурсы по категориям Р1+Р2+Р3 – 311 т. Среди поделочных камней особое значение могут иметь гипсы и ангидриты Бриневского месторождения, характеризующиеся большим разнообразием структур и текстур.

**7.3** **Пьезооптическое сырье**

1. Горный хрусталь

2. Флюорит

3. Исландский шпат

**1. Горный хрусталь**

Один из самых распространенных и хорошо изученных минералов земной коры - кварц - имеет теоретический состав *Si* – 46,7 %, *O* – 53,3 %. Однако даже в наиболее близком к этому составу прозрачном бесцветном кварце содержатся примеси калия, натрия, железа, алюминия, кальция, магния, титана и других элементов. Кварц обладает большой плотностью (2,65-2,66 г/cм3) и упругостью, высокой твердостью (7 по шкале Мооса) и прочностью; он является хорошим диэлектриком, незначительно расширяется при нагревании, химически устойчив, частично растворяясь лишь в плавиковой кислоте.

Практическое использование жильного кварца связано с возможностью изготовления из него специальных стекол, характеризующихся прозрачностью, химической и термической стойкостью и применяемых в светотехнической, оптико-механической и других отраслях промышленности. Особо чистое стекло идет на изготовление высокотемпературных реакторов, оптических телескопов, тиглей для выращивания полупроводниковых монокристаллов и др.

Прозрачные крупные кристаллы кварца (либо их обломки и галька) встречаются редко. Те, из которых могут быть получены бездефектные монокристальные области определенных размеров для изготовления оптических и пьезотехнических элементов, называют пьезооптическим кварцем. Причем, если для оптических целей пригодны лишь прозрачные кристаллы (горный хрусталь), то для пьезотехнических – возможно также использование окрашенных разновидностей, обычно применяемых в ювелирном деле: черных (морион), фиолетовых (аметист), дымчатых (раухтопаз), желтоватых (цитрин) и др.

Прозрачный кварц хорошо пропускает ультрафиолетовые и инфракрасные лучи; при прохождении через его пластинку вдоль оптической оси поляризованного луча происходит поворот плоскости поляризации на некоторый угол. Правые кристаллы b-кварца вращают плоскость поляризации вправо, а левые - влево. Сущность пьезоэлектрических свойств заключается в том, что при сжатии (растяжении) кристалла вдоль оси L2 в том же направлении возникает электрический заряд с противоположными знаками на концах кристалла.

Свыше 90 % добычи кристаллов пьезооптического кварца в мире приходится на долю Бразилии: ее экспорт кристаллокварцевого сырья в последние десятилетия составляет около 7-4 т/год. Менее дефицитный жильный кварц (в том числе гранулированный) добывается во многих странах.

Природными источниками получения жильного кварца и кристаллокварцевого сырья являются пегматиты и гидротермальные кварцевые жилы. Кроме того, значительная часть кристаллокварцевого сырья извлекается из россыпей. С учетом условий образования выделяют следующие важнейшие *геолого-промышленные типы месторождений*.

**1.** Пегматитовые тела с обособлениями жильного кварца и хрусталеносными камерами в гнейсах, гранитогнейсах и кристаллических сланцах или в апикальных частях гранитных интрузивов.

**2.** Гидротермальные хрусталеносные кварцевые жилы и минерализованные трещины в кварцитах, песчаниках, метавулканитах, мраморах и др. породах.

**3.** Гидротермально-метаморфические жилы гранулированного кварца в гнейсах, амфиболитах, кристаллических сланцах, кварцитах мигматито-гнейсовых комплексов.

**4.** Хрусталеносные элювиально-делювиальные и аллювиальные россыпи среди песчано-глинистых отложений, залегающие на коре выветривания каолинитового типа и связанные с хрусталеносными телами пегматитов, гидротермальными жилами и минерализованными трещинами.

В составе первого типа пегматитовых месторождений выделяют два подтипа: слюдоносные пегматиты с кварцевыми обособлениями (блоками, ядрами) и хрусталеносные внутригранитные камерные пегматиты.

Сближенные тела слюдоносных пегматитов жильной, линзовидной или неправильной формы длиной 10-100, редко 300 м, мощностью 5-10, редко   
20 м объединяются в крупные поля среди докембрийских гнейсов, гранитогнейсов, мигматитов и кристаллических сланцев амфиболитовой фации метаморфизма, слагающих древние щиты и антиклинорные зоны складчатых областей. Они содержат обособления (ядра) объемом до 100 м3 и более, сложенные жильным молочно-белым и гранулированным кварцем, прозрачным и полупрозрачным, пригодным для изготовления многокомпонентных оптических стекол. Представителями этого подтипа являются месторождения Карелии и Кольского полуострова, Мамско-Чуйского района, Среднего Урала и другие в России, месторождения Мугоджар в Казахстане, пегматитовые месторождения Индии, Бразилии, США и других стран.

Среди внутригранитных камерных пегматитов различают берилл-топаз-хрусталеносные древних щитов и хрусталеносные, иногда флюорит-хрусталеносные складчатых областей. Они представляют собой изометричные, трубо- и штокообразные тела размером от 2 до 100 м в поперечнике, объединяющиеся в поля с групповым (кустовым) распределением в составе последних. Эти пегматиты имеют зональное строение: кварцевое ядро в окружении блоковой микроклиновой, пегматоидной полевошпат-кварцевой и графической зон.

Обычно под кварцевым ядром располагаются полости объемом от 1 до 40 м3 (редко более), содержащие морион, горный хрусталь и зональные кристаллы с обоими из них, являющиеся пьезооптическим сырьем. Некондиционные кристаллы, а также частично кварц ядра пригодны для плавки технического стекла. Такие пегматиты широко развиты на Украине и в Центральном Казахстане, а также в Бразилии, Канаде, КНР, Монголии, США, Афганистане, Бирме, Шри-Ланке и др. странах

Гидротермальные хрусталеносные кварцевые жилы и тела, минерализованные трещины обычно объединяются в крупные штокверки и штокверковые зоны протяженностью от 100 до 1000 м, шириной до 100 м и глубиной распространения жил до 400 м, преимущественно связанные с высококремнистыми породами: песчаниками, кварцитами, гнейсами и др. Они сложены преимущественно молочно-белым кварцем, в котором выделяются участки прозрачного и полупрозрачного кварца с полостями, содержащими кристаллы горного хрусталя.

Доля прозрачного и полупрозрачного кварца в жилах обычно не превышает 1/3 их объема, а размеры его участков не превышают 10-15 м в поперечнике. Гнезда и занорыши (полости) горного хрусталя располагаются как внутри жил, так и на их выклиниваниях; их объем колеблется от 0,5 до 50 м3, редко более. Полости обычно заполнены каолином, серицитом, кальцитом, обломками жильного кварца и другими минералами. Гидротермальные изменения боковых пород наиболее интенсивны близ хрусталеносных полостей и проявлены в виде хлоритизации, серицитизации, реже карбонатизации, альбитизации и эпидотизации.

Крупные кристаллы горного хрусталя в этих полостях достигают сотен граммов и даже десятков килограммов, являясь ценнейшим пьезооптическим сырьем. Некондиционные кристаллы, а также полупрозрачный и прозрачный кварц - сырье для оптического стекловарения.

Классическими месторождениями этого типа являются бразильские; такие месторождения имеются также в Монголии, Китае, Казахстане, на Памире и других странах. В России главными районами их развития являются Алдан, Приполярный и Южный Урал.

Гидротермально-метаморфические жилы гранулированного кварца имеют простую линзовидную или более сложные формы; их длина по простиранию колеблется от первых десятков до первых сотен метров, по падению – до 40 м, мощность колеблется от 1 до 5 м (иногда до 15 м). Чаще они вытянуты в линейные зоны или образуют штокверки среди гнейсов, амфиболитов, кристаллических сланцев и кварцитов мигматитогнейсовых куполов складчатых систем, реже встречаются единичные жилы. Гранулированный кварц характеризуется повышенной химической чистотой и высоким светопропусканием.

Его образование происходило за счет метаморфической грануляции первичного жильного кварца, сопровождавшейся очисткой последнего от минеральных и газово-жидких включений. Это сравнительно новый, по существу еще осваиваемый вид кварцевого сырья для производства прозрачного кварцевого стекла путем плавки. Примерами месторождений этого типа являются Кыштымские, Ларинское, Вязовское, Маукское, Кузнечихинское на Урале, а также ряд объектов Казахстана и других стран.

Хрусталеносные россыпные месторождения обычно тесно пространственно связаны со своими коренными источниками: хрусталеносными телами пегматитов и гидротермальными жилами. Генетически это элювиально-делювиальные и аллювиальные образования эллипсовидной, округлой, неправильной изометричной, дельтовидной и вытянутой лентовидной формы в плане. Их размер в поперечнике может достигать 1,5 км и более при небольшой мощности (0,5-1,5 м).

Обломки кристаллов горного хрусталя слабо окатанные, как правило, обладают высоким качеством (при формировании россыпи происходит естественное обогащение, обусловленное более высокой устойчивостью к агентам химического и физического выветривания кристаллов, лишенных трещин, свилей, двойников, твердых и газово-жидких включений).

Промышленные хрусталеносные россыпи широко развиты на восточном склоне Южного Урала; примером зарубежных месторождений этого типа являются россыпи, сопутствующие хрусталеносным гидротермальным жилам Бразилии, и многочисленные элювиально-делювиальные топаз-морионовые россыпи, связанные с камерными гранитными пегматитами Украины.

**2. Флюорит**

К *оптическому флюориту* *(CaF2)* относят бесцветные или слабо окрашенные кристаллы с бездефектными областями, отличающимися совершенной прозрачностью, чистотой, отсутствием трещиноватости и опалесценции. Его ценность как оптического сырья заключается в способности преломлять падающий пучок белого света с малым рассеиванием (показатель преломления флюорита для световых волн различной длины меняется незначительно). Флюорит свободно пропускает ультрафиолетовые и инфракрасные лучи, имеет низкий показатель преломления и, будучи минералом кубической сингонии, лишен эффекта двупреломления.

Эти свойства и используются при изготовлении ультрафиолетовых микроскопов, призменной оптики, вакуумных приборов (монохроматоров, спектрографов), в космической технике, квантовой оптике, фурье-спектроскопии и других областях.

Моноблок оптического флюорита должен быть не менее 6 мм по двум измерениям и 5 мм по третьему, либо не менее 10 мм по двум измерениям и   
3 мм по третьему. По техническим условиям пластинка оптического флюорита толщиной 1 мм должна пропускать не менее 80% потока ультрафиолетовых лучей. Бесцветные кристаллы, их сростки или обломки с поверхностями спайности размером более 5 мм относятся к сырью для получения искусственного оптического флюорита.

Для синтеза высококачественных монокристаллов оптического флюорита пригоден природный слабо люменисцирующий флюорит с низким (около 0,003 %) содержанием редких земель, устойчивый к действию ионизирующего излучения. Флюорит такого качества содержится в относительно низкотемпературных гидротермальных месторождениях ряда провинций плавикошпатового сырья.

Кристаллы природного оптического флюорита исключительно редки; они главным образом связаны с зональными телами флюорит-хрусталеносных камерных пегматитов в эндоконтактах гранитоидных массивов складчатых областей, охарактеризованных при рассмотрении месторождений горного хрусталя. Отметим лишь, что полости с кристаллами флюорита локализованы не только вдоль нижнего контакта кварцевого ядра пегматитового тела, но и в других зонах последнего. Размеры кристаллов флюорита достигают дециметровых, а их окраска варьирует от голубой до фиолетовой. Месторождения флюорит-хрусталеносных камерных пегматитов имеются в Центральном Казахстане.

**3. Исландский шпат**

*Исландский шпат* *(CaCO3)* представляет собой прозрачную разновидность кальцита в виде кристаллических индивидов или сростков кристаллов, которые в зависимости от примесей марганца, железа, магния, реже бария, свинца, стронция и битумов окрашены в желтый, розовый, бурый и другие цвета. Кристаллы исландского шпата, которые хотя бы частично лишены трещин, инородных включений и являются оптически однородными, относятся к оптическому кальциту.

Кальцит кристаллизуется в тригональной сингонии, он легко раскалывается на блоки, обладая совершенной спайностью по ромбоэдру. Минерал хрупок, его твердость 3 по шкале Мооса, плотность 2,71 г/см3, при температуре около 800 °C разлагается на СаО и СО2.

Использование исландского шпата в оптической промышленности основано на его оптической однородности, очень высоком двупреломлении в сочетании с прозрачностью и проницаемостью для ультрафиолетовых и видимых лучей света. Из него изготавливают поляризационные призмы, лучеразводящие пластины и цилиндры, бифокальные линзы и многие детали поляризационных микроскопов, фотометров, интерферометров, поляриметров и др.

Стандартным сырьем исландского шпата являются пластины, блоки и спайные ромбоэдры. Доля бездефектного оптически пригодного материала в пластинах и блоках должна превышать 20 %, а в ромбоэдрах – 50 %. Минимальный размер бездефектной области – куба – должен быть 10×10×10 мм (одно ребро параллельно оптической оси); минимальная толщина пластин 10 мм; минимальные размеры ромбоэдров 29×29×9 и 18×18×14 мм. Исландский шпат всегда является одним из самых поздних продуктов гидротермального процесса, кристаллизуясь в открытых полостях горных пород, богатых кальцием: известняков, базальтов, диабазов и др.

Месторождения исландского шпата находятся на древних платформах и связаны с породами трапповых формаций. Они могут быть приурочены к базальтовым покровам, к пластам и линзам туфогенных пород, к рвущим субвулканическим телам диоритов, представляя единый геолого-промышленный тип: низкотемпературные гидротермальные шпатоносные тела в траппах. Скопления кристаллов исландского шпата ассоциируют с *Na-* и *Na-Ca* цеолитами, анальцимом, халцедоном и монтмориллонитом.

Шпатоносные тела в базальтовых покровах локализуются в структурах коробления миндалекаменных базальтов, а также в горизонтах и линзах шаровых лав. Это главный геолого-промышленный подтип месторождений, представленный залежами протяженностью до 1 км при мощности в первые метры. Исландский шпат - высокого и среднего качества.

Шпатоносные тела в туфогенных породах (второй геолого-промышленный подтип) связаны с зонами дробления, достигают протяженности 400-500 м при мощности 2-10 м. Качество кристаллов невысокое обычно из-за присутствия в них твердых и газово-жидких включений.

Шпатоносные тела, связанные с рвущими телами долеритов (третий геолого- промышленный подтип), контролируются зонами разломов. Тела имеют протяженность до 300 м при мощности до 10 м. Качество кристаллов низкое. Однако в трещиноватых и брекчированных апикальных частях долеритовых тел могут появляться богатые шпатоносные тела с высококачественными кристаллами.

Классическим примером рассматриваемого геолого-промышленного типа являются многочисленные месторождения исландского шпата Сибирской платформы. Они также присутствуют на Тимане, а за рубежом промышленная кальцитоносность известна среди траппов Карру Южно-Африканской платформы, палеогеновых базальтов Декана Индийской платформы и других регионов.

Второй, резко подчиненный геолого-промышленный тип месторождений исландского шпата представлен сериями мелких (до 15 м) телетермальных кальцитовых жил и тел в разломах и линейных карстовых полостях среди карбонатных пород.

Такие по существу мономинеральные образования с ничтожным количеством сульфидов, флюорита и барита имеют в своем составе единичные полости с кристаллами исландского шпата, заполненные глиной. Кристаллы замутненные и белые; прозрачные участки находятся преимущественно по их периферии. Размер кристаллов может достигать десятков сантиметров. Месторождения этого типа известны на Северном Кавказе и Южном Тянь-Шане; возраст этой минерализации и ее связь с конкретными магматическими комплексами определенно не установлены.

**Раздел 8 Строительные материалы и сырье для их производства**

**8.1 Керамическое сырье**

1. Непластичное керамическое сырье

2. Пластичное керамическое сырье

3. Месторождения Беларуси

**1. Непластичное керамическое сырье**

Непластичное керамическое сырье отличается чрезвычайным разнообразием и взаимозаменяемостью. Для производства керамики используются следующие минералы: 1) полевые шпаты – плагиоклазы *(Na[AlSi3O8] – Ca[Al2Si2O8]);* 2) высокоглиноземные минералы – кианит *Al2[SiO4]O*, силлиманит *Al[AlSiO5]*, андалузит *AlAl[SiO4]O*; 3) волластонит *Ca3[Si3O9].* Применяются также тальк *Mg3[Si4O10](OH)2*, пирофиллит *Al2[Si4O10](OH)2,* нефелин *KNa3[AlSiO4]4,* форстерит *Mg2[SiO4*], тремолит Ca2Mg5[Si4O11]2(OH)2, антофиллит (Mg, Fe)7[Si4O11]2(OH)2, топаз *Al2[SiO4](F, OH)2*, кварц *SiO2* и др.

*Полевые шпаты* – важнейший керамический материал. Плагиоклазы образуют непрерывный изоморфный ряд, конечными членами которого служат альбит (натровый) и анортит (кальциевый). К калиевым полевым шпатам относятся микроклин и ортоклаз (они могут содержать до 30 % альбитовой составляющей). В небольших количествах полевые шпаты содержат изоморфные примеси *Fe3+, Fe2+, Li, Rb, Cs, Sr*, Ba. Твердость – 6. Температура плавления микроклина 1170 °С, альбита 1100 °С, анортита   
1550 °С.

Полевые шпаты – большая группа широко распространённых, в частности – [породообразующих](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D1%83%D1%8E%D1%89%D0%B8%D0%B5_%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8B) минералов из класса [силикатов](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%82%D1%8B). Большинство полевых шпатов – представители твёрдых растворов тройной системы [изоморфного](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%98%D0%B7%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D1%80%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%BC) ряда *К[АlSi3O8] – Na[АlSi3O8] – Са[АlSi2O8],* конечные члены которой соответственно – [ортоклаз](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9E%D1%80%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B7) (*Or*), [альбит](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%90%D0%BB%D1%8C%D0%B1%D0%B8%D1%82) (*Ab*), [анортит](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B8%D1%82) (*An*).

Выделяют два изоморфных ряда: [альбит](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%90%D0%BB%D1%8C%D0%B1%D0%B8%D1%82) (*Ab*) – [ортоклаз](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9E%D1%80%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B7) (*Or*) и [альбит](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%90%D0%BB%D1%8C%D0%B1%D0%B8%D1%82) (*Ab*) – [анортит](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B8%D1%82) (*An*). Минералы первого из них могут содержать не более 10 % *An*, а второго – не более 10 % *Or*. Лишь в натриевых полевых шпатах, близких к *Ab*, растворимость *Or* и *An* возрастает. Члены первого ряда называются щелочными (*К-Nа* полевые шпаты), второго – [плагиоклазами](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%B3%D0%B8%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B7) (*Са-Na* полевые шпаты). Непрерывность ряда *Ab-Or* проявляется лишь при высоких температурах, при низких – происходит разрыв смесимости с образованием [пертитов](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B8%D1%82). Наряду с [санидином](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%A1%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B4%D0%B8%D0%BD), являющимся высокотемпературным, выделяются низкотемпературные калиевые полевые шпаты – [*микроклин*](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B8%D0%BD) и [*ортоклаз*](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9E%D1%80%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B7). Полевые шпаты – наиболее распространенные [породообразующие минералы](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D1%83%D1%8E%D1%89%D0%B8%D0%B5_%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8B), они составляют около 50 % от массы [Земной коры](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B0).

Плагиоклазы имеют общую формулу *(Ca, Na)(Al, Si) AlSi2O6:*

* [Альбит](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%90%D0%BB%D1%8C%D0%B1%D0%B8%D1%82) (крайний член изоморфного ряда, с формулой: *NaAlSi2O6*, содержит 0 –10 % *An*).
* [Олигоклаз](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9E%D0%BB%D0%B8%D0%B3%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B7).
* [Андезин](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B4%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D0%BD).
* [Лабрадор](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9B%D0%B0%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%BE%D1%80).
* [Битовнит](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%91%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D1%82).
* [Анортит](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B8%D1%82) (крайний член изоморфного ряда, с формулой: *CaAlSi2O6*, содержит 90 –100 % *An*).

Плагиоклазы, в основном салические – главные породообразующие минералы магматических и многих метаморфических пород. В магматических породах сначала кристаллизуется плагиоклаз, богатый *Аn*-молекулой, а затем выделяется более кислый (богатый кремнеземом). В этих случаях могут развиваться зональные кристаллы. Некоторые [магматические горные породы](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BF%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%8B) почти целиком состоят из плагиоклазов (анортозиты, плагиоклазиты и другие). В [пегматитовых](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9F%D0%B5%D0%B3%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%82%D1%8B) жилах часто встречается альбит, формирующийся за счёт других плагиоклазов, и особенно за счет натрийсодержащих калиевых полевых шпатов. В [гидротермальных условиях](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81%D1%8B) в процессе выветривания плагиоклазы изменяются в [каолинитовые](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%82) минералы и [серицитовую](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%A1%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%86%D0%B8%D1%82) [слюду](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%A1%D0%BB%D1%8E%D0%B4%D1%8B). При этом плагиоклазы, богатые анортитовой составляющей, разрушаются быстрее, чем кислые; альбит более устойчив при вторичных процессах.

* [*Ортоклаз*](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9E%D1%80%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B7) *(KAlSi3O8)*
* [*Адуляр*](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%90%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%80) *(KAlSi3O8)*
* [*Микроклин*](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B8%D0%BD) *(KAlSi3O8)*

Все три минерала соответствуют одной химической формуле, отличаясь друг от друга только степенью упорядоченности их [кристаллических решеток](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B5%D1%88%D0%B5%D1%82%D0%BA%D0%B0).

Микроклин – триклинной [сингонии](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%8F) (псевдомоноклинный), угол между плоскостями спайности отличается от прямого на 20°.

Адуляр – с упорядоченной структурой и такой же формулой, но с наклоном спайности 30°.

Санидин – моноклинный, с совершенно неупорядоченной структурой (*К(АlSi)4O8*), устойчив при температуре выше 500 °C, а ортоклаз, также строго моноклинный, имеет частично упорядоченную структуру *К(А1,Si)Si2O8* и устойчив при температурах между 500° и 300 °C. Ниже этой температуры стабильной формой является микроклин.

В составе ортоклазов почти постоянно присутствует некоторое количество *Nа2О*, промежуточные члены между ортоклазом и альбитом называются [анортоклазами](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B7). Ряд ортоклаз – альбит обычно устойчив при высоких температурах, понижение температуры ведет к выделению альбита в ортоклазе ([пертит](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B8%D1%82)) или ортоклаза в альбите (антипертит).

[Твердый раствор](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%A2%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%B4%D1%8B%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80) с [санидином](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%A1%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B4%D0%B8%D0%BD) представляет собой моноклинную [модификацию](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D1%80%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%BC) *Na[АlSi3О8]* с содержанием некоторого количества калия и известен как *барбьерит*; другая модификация такого же состава, но триклинная, образует [твердый раствор](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%A2%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%B4%D1%8B%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80) с высокотемпературным альбитом. Разновидности: [адуляр](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%90%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%80) (назван по местности в Альпах), низкотемпературный ортоклаз со слабо развитыми гранями (010) или без них, иногда опалесцирует и используется как полудрагоценный камень ([*лунный камень*](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9B%D1%83%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%8C)).

[*Амазонит*](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%90%D0%BC%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%82) – светло-зелёный микроклин. Кристаллографические формы псевдомоноклинных триклинных представителей (микроклин и некоторые адуляры) аналогичны формам ортоклаза. Ортоклаз характеризуется прямым углом между плоскостями спайности.

Для отличия плагиоклазов от калиевых полевых шпатов используется метод окрашивания. Для этого поверхность породы или пластинка минерала травится HF, а после помещается в раствор К-родизоната; – плагиоклазы, за исключением альбита, окрашиваются в кирпично-красный цвет.

*Калиевые полевые шпаты* – главные [породообразующие минералы](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D1%83%D1%8E%D1%89%D0%B8%D0%B5_%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8B) кислых [магматических пород](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0) ([граниты](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%82), [сиениты](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%82), [гранодиориты](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82) и др.), а также некоторых широко распространённых метаморфических пород ([гнейсы](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%93%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%81)). В последних преобладает низкотемпературный микроклин, тогда как в магматических породах плутонического типа присутствует ортоклаз, а в [вулканических](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0) – санидин. Анортоклаз – типичный минерал магматических пород, богатых натрием.

Ортоклаз и микроклин вместе с кварцем и мусковитом являются главными минералами пегматитов. Если в них присутствует [берилл](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%91%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BB%D0%BB), микроклин может быть обогащён [бериллием](http://wiki.web.ru/index.php?title=%D0%91%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BB%D0%BB%D0%B8%D0%B9&action=edit&redlink=1), который, как и [алюминий](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%90%D0%BB%D1%8E%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D0%B9), способен замещать атомы [кремния](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%B8%D0%B9). Для [пегматитов](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9F%D0%B5%D0%B3%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%82%D1%8B) характерны прорастания ортоклаза (микроклина) с кварцем, известные как пегматит «[письменный гранит](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9F%D0%B8%D1%81%D1%8C%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%82)» и являющиеся продуктом раскристаллизации [эвтектического](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%AD%D0%B2%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0) [магматического](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%BC%D0%B0) расплава. Адуляр – типичный полевой шпат в [гидротермальных](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81%D1%8B) жилах [альпийского типа](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%90%D0%BB%D1%8C%D0%BF%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%B6%D0%B8%D0%BB%D1%8B).

По сравнению с плагиоклазами, калиевые полевые шпаты более устойчивы к разрушению, но они могут замещаться альбитом, давая начало «[метасоматическому](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%B0%D1%81%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%B7)[пертиту](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B8%D1%82)». В [гидротермальных условиях](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81%D1%8B) и при [выветривании](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%92%D1%8B%D0%B2%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5) они изменяются в минералы группы [каолинита](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%82).

Хорошо известны месторождения калиевых полевых шпатов в Норвегии, в Швеции, на Мадагаскаре, на территории [Ильменского заповедника](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%98%D0%BB%D1%8C%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B3%D0%BE%D1%81%D1%83%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA) и во многих других пегматитовых проявлениях Южного Урала. Также в штате Мэн, США, и в других местах.

Калиево-бариевые полевые шпаты (гиалофаны) встречаются в природе редко. Они представляют собой [изоморфные](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%98%D0%B7%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D1%80%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%BC) смеси *К[АlSi3O8] - Ba[Аl2Si2O8]:* [цельзиан](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%A6%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%B7%D0%B8%D0%B0%D0%BD) *(BaAl2Si2O8),* [гиалофан](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D1%84%D0%B0%D0%BD) *(K,Ba)(Al,Si)4O8.*

К высокоглиноземным огнеупорным минералам принадлежат *кианит (триклинный), силлиманит и андалузит (ромбические).* В них отмечается изоморфная примесь Fe3+. Спайность этих минералов совершенная; твердость 5,5-7,5. Близки к ним по свойствам и применению топаз и дюмортьерит (боросиликат алюминия), используемые недавно и в малых количествах.

*Кианит* – минерал, островной силикат алюминия. Имеет две полиморфные модификации: андалузит и силлиманит. Другие синонимы: баус, псевдоандалузит, саппарит, тальковый шерл. Химический состав минерала постоянный, в качестве примесесей в структуру могут входить *Fe3+* и *Cr3+. Аl2O3* – 63,1 %, *SiO2* – 36,9 %. В виде изоморфной примеси обычно присутствуют *Fe2O3* до 1-2 % (иногда до 7 %), *Cr2O3* – до 1,8 % и в незначительных количествах *СаО, MgО, FeО, ТiO2*. Окраска, вероятно, обусловлена переносом заряда *Fe(II)-Fe(III).* Цвет от белого до голубого и голубовато-синего, голубой, синий (различной интенсивности), иногда зелёный, серый. Полупрозрачен или просвечивает в краях, в тонких пластинках до прозрачного. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности иногда перламутровый. Цвет черты белый. Твердость в различных направлениях неодинакова: на грани (100) параллельно удлинению кристалла – 4-4,5; в поперечном направлении 6; на гранях (010) и (110) – 7. Плотность 3,56 – 3,68 (колеблется в зависимости от количества включений). Диагностические признаки: легко узнаётся по голубой или синей окраске, неоднородной твёрдости и нахождению в кристаллических, главным образом слюдистых сланцах. В шлифах обычно бесцветный, иногда до голубого.

*Кианит* – типичный минерал высокоглиноземистых метаморфических пород. Кианит почти всегда присутствует в метаморфических породах, образовавшихся при региональном метаморфизме. Он встречается в кристаллических глинистых сланцах, гнейсах, гранулитах и эклогитах. Реже кианит имеет магматическое происхождение, присутствует в пегматитах и гранитах. Очень редко встречается гидротермальный кианит в кварцевых жилах.

В России хорошо известны месторождения кианита в Карелии, на Кольском п-ове (Кейвы и др.), на Южном Урале (Борисовское м-ние), в Вост. Сибири. Голубые полупрозрачные кристаллы в ассоциации с парагонитом и ставролитом известны из Пиццо-Форно в кантоне Тичино (Швейцария). Красивые образцы добыты в Тироле (Австрия) и в департ. Морбиан (Франция); непрозрачные кристаллы до 30 см. в длину лазурной окраски – в штате Минас-Жерайс (Бразилия). Зелёные кианиты открыты в Мачакос (Кения).

Месторождения кианита промышленных масштабов разрабатываются в США (шт. Массачусетс, шт. Коннектикут, шт. Северная Каролина, где кианит приурочен к мощной полосе метаморфических пород, интрудированных габбро, диоритами, гранитами, пегматитами, кварцевыми жилами), в Индии и Австралии.

*Силлиманит* – относительно распространенный минерал, островной силикат из группы кианита. Данный химический состав в природе триморфен, встречаясь помимо силлиманита в виде минералов кианит и андалузит. Химический состав: окись алюминия (*Аl2О3*) 63,1 %, двуокись кремнезема (*SiO2)* 36,9 %, иногда присутствует в виде примеси (2-3 %) окись железа.

Диагностические признаки: характерны игольчатые, шестоватые и волосовидные формы кристаллов. От андалузита, с которым он нередко встречается совместно, отличается по оптическим свойствам. При температуре около 1545°С разлагается с образованием муллита. В кислотах не растворяется.

Происхождение и месторождения: как высокотемпературный контактово-метаморфический минерал встречается часто непосредственно на контакте с изверженными породами и даже в самих изверженных породах в качестве продукта реакции с обломками богатых глинозёмом пород, захваченными при внедрении. Встречается также в кристаллических сланцах как более ранний минерал, иногда совместно с андалузитом, шпинелью, кордиеритом, корундом и др.

Большие месторождения сплошных масс силлиманита (до 85 %) в виде крупных линз и гнёзд в кристаллических сланцах известны в Индии: Хази-Хиллс и Пипра. Образовались они в результате воздействия на сланцы пневматолитовых агентов, генетически связанных с интрузией турмалино-мусковитового гранита. Силлиманит известен в России (Кяхтинское месторождение, Забайкалье; Ольхонские ворота, Восточная Сибирь; Ловозерский, Хибинский массив, Кольский полуостров; Горный Алтай, Западная Сибирь); Австрии; Антарктике; Германии; США; во Франции; в Чехии.

*Андалузит* – минерал, силикат алюминия. Данный химический состав в природе триморфен, встречаясь кроме андалузита в виде минералов кианит и силлиманит. Андалузит образует ряд твёрдых растворов c канонаитом (*kanonaite, Mn3+AlOSiO4*). Окись алюминия (*Al2O3*) 63,1 %, двуокись кремния (*SiO2*) 36,9 %, часто в небольшом количестве присутствует окись железа (*Fе2O3*). Андалузит имеет главным образом метаморфическое происхождение, встречается в породах, образовавшихся в результате контактового и регионального метаморфизма. Также андалузит образуется как магматический минерал в пегматитах и гранитах. Встречается в гидротермальный андалузит в кварцитах. Андалузит известен как минерал контактового метаморфизма в бедных щелочами глинистых сланцах, связанных с гранитными интрузиями. Часто замещается слюдой – мусковитом, а также переходит в кианит с образованием параморфоз.

*Волластонит* существует в трех полиморфных модификациях. Наиболее распространен триклинный волластонит, в ассоциации с ним, но значительно реже встречается моноклинный параволластонит и, наконец, в шлаках и стеклах присутствует высокотемпературный триклинный псевдоволластонит. Кальций в волластоните нередко замещается марганцем (до 7,82 % *MnO*) и железом (до 9,29% *FeO*). Цвет волластонита обычно белый, реже серый и коричневый. Агрегаты лучистые, шестоватые, волокнистые и зернистые. Твердость 4,5-5. Температура плавления 1540 °С. Минерал обладает высокими диэлектрическими свойствами.

***Применение.*** Полевые шпаты широко используются при производстве электроизоляторов, абразивов и сварочных электродов, причем к этому сырью предъявляются наиболее жесткие требования, также при выработке художественного и хозяйственного фарфора и фаянса. Полевые шпаты широко используются в керамической промышленности, как налолнители, лёгкие абразивы (например, в производстве зубных паст), а также как сырье для извлечения рубидия и некоторых других содержащихся в них элементов-примесей. Некоторые разновидности полупрозрачных и прозрачных плагиоклазов, обладающие эффектом опалесценции или серебристо-синеватой и золотистой [иризацией](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%98%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F) используются как [поделочные камни](http://wiki.web.ru/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%BE%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BA%D0%B0%D0%BC%D0%BD%D0%B8) в ювелирном деле.

Высокоглиноземные минералы применяются для производства огнеупоров и специального технического фарфора (лабораторная и техническая посуда, электроизоляторы и т.п.). Кианит применяется при производстве высокоглиноземистых огнеупоров, отличающихся высокой механической прочностью и инертностью по отношению к щелочам и кислотам, используется для извлечения силумина и глинозема, получения глиноземистого фарфора и керамики, производства химических сосудов, в ювелирном деле как недорогой декоративно-поделочный камень. Поведение в кислотах: нерастворим.

Андалузит применяется для производства высокоглинозёмистых огнеупоров и тонкокерамических изделий (пирометрических трубок, изоляторов). Не требует предварительного обжига, т. к. при нагревании незначительно увеличивается в объёме (до 5 %). Огнеупорность андалузитовых пород до 1850°C.

Волластонит является одним из новых видов полезных ископаемых. Он применяется в основном в керамической промышленности для производства радиокерамики, фаянса, фарфора, изоляторов с низкими диэлектрическими потерями, санитарных изделий, облицовочных плиток, специальных цементов для керамики и абразивов.

**2. Пластичное керамическое сырье**

*Глины*– связные несцементированные осадочные породы, с преобладанием глинистых минералов, держатся в куске благодаря межмолекулярным силам и сцеплению между тончайшими частицами диаметром меньше 0,005 мм, обладают пластичностью и после обжига приобретают прочность камня. По гранулометрическому составу в глинах резко преобладают частицы размером 0,01–0,001 мм. Содержание частиц диаметром меньше 0,001 мм достигает 25–30 %, а частиц диаметром более   
0,1 мм обычно не превышает 10–15 %.

К *глинистым породам* относят не размокающие, так называемые сухарные, глины («флинтклей»), а также аргиллиты и глинистые сланцы, которые, подобно глинам, обладают тонкодисперсным строением, близким минеральным и химическим составом.

Глинистые минералы, слагающие основную массу породы, представляют собой относительно стабильные водные силикаты алюминия, железа и магния слоистой, слоисто-ленточной и смешанно-слоистой структур, отличающиеся от других силикатов высокой дисперсностью, гидрофильностью, способностью к сорбции и ионному обмену. Глинистые минералы – это по преимуществу кристаллические минералы; аморфные глинистые минералы распространены реже. В основе их кристаллического строения лежат два типа двумерных структурных элементов: тетраэдрическая кремнекислородная сетка и октаэдрическая сетка, в углах элементарного октаэдра которой находятся ионы кислорода и гидроксила, а в центре – алюминия, железа или магния. Совокупность таких сеток образует элементарный слой, который может состоять из двух (октаэдрической и тетраэдрической), трех (двух тетраэдрических и одной октаэдрической) и более сеток.

Выделяют следующие группы глинистых минералов, отличающихся между собой по кристаллической структуре и составу (в скобках даны характерные минералы каждой группы): 1) аллофановая (аллофан);   
2) каолинитовая (каолинит, галлуазит); 3) монтмориллонитовая (монтмориллонит, нонтронит); 4) гидрослюдистая (гидромусковит, глауконит); 5) хлоритовая (хлорит); 6) палыгорскитовая (палыгорскит, сепиолит). Различают также минералы-сростки (монотермит, бейделлит).

Неглинистые минералы в глинах представлены кварцем, лимонитом, гематитом, пиритом, марказитом, сидеритом, магнетитом, неразложившимися остатками полевых шпатов, турмалином, амфиболами и др. Содержание основных химических компонентов глин колеблется в широких пределах (%): *SiO2* 30–70; *Al2O3* 10–40; *H2O* 5–15; подчиненными компонентами являются *TiO2, Fe2O3, MgO, CaO, Na2O, SO3, CO2, P2O5, S, C и др.*

*Каолином* называют близкую к мономинеральной глинистую породу, состоящую из каолинита или других минералов группы каолинита. Он обладает белым цветом, слабо пластичен или даже непластичен. Различают *остаточные* или *первичные каолины*, связанные с корой выветривания полевошпатовых изверженных, осадочных и метаморфических пород, и *вторичные каолины*, возникшие за счет размыва и переотложения первичных каолинов. По химическому составу чистый каолин близок к теоретическому каолиниту и содержит (%): *SiO2* 46,54; *Al2O3* 39,50; *Н2О* 13,96. Количество *Fe2O3, TiO2, CaO и K2O* не превышает 0,5–0,7 % каждого компонента.

*Свойства глин, каолинов и глинистых пород.* Главнейшими свойствами глин, каолинов и других глинистых пород, определяющих применение их в промышленности, являются пластичность, связность, вспучиваемость, набухаемость, воздушная усадка, огневая усадка, огнеупорность, спекаемость, адсорбционная способность, гигроскопичность, способность к ионному обмену, относительная химическая инертность и др.

*Пластичность* – это способность глин во влажном состоянии приобретать под давлением любую форму и сохранять ее после снятия давления и сушки. Пластичность тонкодисперсных монтмориллонитовых глин является наивысшей.

*Набухание* – свойство глин увеличиваться в объеме при поглощении воды. Наибольшим набуханием обладают монтмориллонитовые и бейделлитовые глины, меньшим – монотермитовые, каолинитовые и гидрослюдистые.

*Усадка* – уменьшение объема глины или сформированного из нее изделия при сушке (воздушная усадка) и обжиге (огневая усадка).

*Спекаемость* – способность глин при обжиге превращаться в камнеподобное твердое тело («черепок»), обладающее рядом ценных технических свойств.

*Вспучивание* – свойство некоторых глинистых пород при обжиге увеличиваться в объеме с образованием прочного материала ячеистого строения с закрытыми, не сообщающимися между собой порами.

*Адсорбционные свойства* глин заключаются в способности их поглощать и удерживать окрашивающие примеси из жидкостей и газов, смолы, слизи и другие коллоидальные вещества из минеральных, растительных и животных масел и жиров. Наиболее активными адсорбентами являются монтмориллонитовые глины.

*Промышленная классификация глин.* В соответствии с промышленной классификацией, принятой в странах СНГ, они подразделяются по *химическому составу* (содержание *Al2O3,* %) на высокоосновные (более 40), основные (30–40), полукислые (15–20) и кислые (до 15); по *огнеупорности* (температура плавления, о С) на огнеупорные (более 1580), тугоплавкие (1350–1580) и легкоплавкие (до 1350). По цвету черепка, полученного при обжиге, глины подразделяются на беложгущие, светложгущие и темножгущие.

*Применение в промышленности.* Глины, каолины и другие глинистые породы в больших объемах потребляются разными отраслями промышленности как в сыром, так и обожженном виде. Около 70 % общего тоннажа всех добываемых глин и глинистых пород используется в производстве керамических изделий (тонкая керамика – фаянс и фарфор; строительная керамика – кирпич, черепица и др.; грубая керамика – канализационные и дренажные трубы). В значительных объемах глины применяются в цементной промышленности как один из основных компонентов для производства портланд-цемента. На свойстве вспучивания при обжиге основано применение глинистых пород в производстве легких наполнителей – керамзита и аглопорита. Глины употребляются для приготовления буровых растворов. Применяемая для этих целей глина должна быть тонкодисперсной, давать с водой вязкую, долго не оседающую суспензию и содержать минимум песчаных частиц. В Беларуси для приготовления буровых растворов, используемых при бурении нефтепоисковых, разведочных и эксплуатационных скважин, применяется в основном палыгорскит. В крупных количествах сырые глины и каолины используются в качестве наполнителей в бумажной, резиновой, пластмассовой, парфюмерной и других отраслях промышленности.

*Генетические типы промышленных месторождений.* Месторождения глин и глинистых пород по условиям образования достаточно разнообразны. Среди них присутствуют как гипогенные (гидротермальные), так и гипергенные (остаточные, обломочные, инфильтрационные, осадочные и иные). Бентонитовые глины в одних случаях представляют результат подводного разложения вулканических туфов, в других – переотложения продуктов выветривания мафических горных пород. Все же главное значение имеют две геолого-промышленные группы месторождений глинистого минерального сырья – выветривания (остаточные) и осадочные.

В *группе остаточных месторождений* наибольшее практическое значение имеют месторождения первичных каолинов. Они возникают при выветривании разных пород, но наиболее качественный каолин образуется при выветривании кислых изверженных пород – гранитов, пегматитов и аплитов. Для залежей характерна плащеобразная форма и непостоянная мощность. К этому типу относятся многочисленные месторождения Украины, Казахстана, США, Великобритании и др.

*Осадочные месторождения* представлены континентальными, лагунными и собственно морскими глинистыми аккумуляциями. Среди континентальных месторождений промышленное значение имеют озерные, озерно-болотные, аллювиальные, ледниковые и флювиогляциальные. Месторождения глин континентального генезиса широко распространены на Восточно-Европейской платформе, в том числе и в Беларуси. Морские месторождения глин разделяются на прибрежные и месторождения удаленной от берега части шельфа. Прибрежно-морские месторождения формировались за счет аккумуляции глинистого вещества на глубинах до   
50 м в зонах, где не было непрерывного взмучивания осадков – в бухтах, заливах, подводных частях речных дельт и между прибрежными островами. Глины этих месторождений плохо отсортированы и неоднородны по минеральному составу. Залежи имеют форму линзовидных пластов разной протяжности и изменчивую мощность – от 1–5 до 25–30 м и более.

Месторождения глин в удаленной от берега части шельфа возникали на глубинах до 200 м в пределах зон, где не было сильных течений. Здесь осаждались тонкодисперсные глинистые частицы. Преобладают гидрослюдистые и бейделлитовые глины, весьма однородные по гранулометрическому составу. Примеси представлены сидеритом, пиритом, глауконитом, марганцевыми и кремнистыми включениями, карбонатными и глинисто-карбонатными конкрециями. Мощность продуктивных толщ достигает 100 м и более. В Ленинградской области разрабатываются месторождения кембрийской «синей» глины мощностью до 200 м.

По степени пластичности и другим свойствам среди огнеупорных глин различают «сухари», «полусухари» и «мыленки». Близ Боровичей глины представлены преимущественно «сухарями» и «полусухарями», а у   
с. Любытино – «полусухарями» и «мыленками». Залежи огнеупорных глин имеют линзо- и пластообразную форму. Длина линз от 50 до 300 м, мощность – от 0–0,5 до 0,4 м. Глубина залегания огнеупорных глин на разных месторождениях и участках различна, обычно она составляет   
20–110 м.

Наиболее ценными глинами являются «сухари», не размокающие в воде. Они светло-серые, серые и темно-серые, состоят из каолинита с примесью гидраргиллита. Огнеупорность их – 1670–1770 о С, содержание глинозема – 41–45 % и более.

«Полусухари» светло-серого цвета, состоят из каолинита с примесью слюды, огнеупорность их – 1670–1710 оС, содержание глинозема – 39 %.

Пластичные глины («мыленки») светло-серые до черных, состоят из каолинита и существенной примеси слюды, наблюдаются включения углистого вещества, пирит, сидерит, местами примесь тонкозернистого песка; огнеупорность 1580–1730 о С, содержание глинозема около 37 %.

Огнеупорные глины отличаются высокой дисперсностью частиц (доминируют частицы диаметром менее 0,001 мм). Химический состав их испытывает значительные вариации.

**3. Месторождения Беларуси**

Месторождения глин связаны в основном с четвертичными отложениями (легкоплавкие глины), тугоплавкие – с олигоцен-плиоценовыми образованиями, распространенными на юге республики, а каолины – с корами выветривания.

В настоящее время разведано более 220 *месторождений легкоплавких глин* с общими запасами около 200 млн м3 (разрабатывается более 100 месторождений, ежегодно добывается 2,5–3,5 млн м3).

Сырьевая база *тугоплавких глин* базируется на 6 месторождениях с общими запасами по категориям А+В+С1 53,1 млн м3 и по категории С2 –   
3,5 млн м3. Эксплуатируются 4 месторождения: Городок, Столинские Хутора, Журавлево и Городное на юге Беларуси.

*Каолины* развиты в пределах Микашевичско-Житковичского выступа кристаллического фундамента. Они представляют собой продукт выветривания гранитогнейсов и гнейсов. Каолины, как правило, светло-серые и белые, слюдистые с примесью гидрослюд и монтмориллонита. Выявлены четыре месторождения: Ситница, Дедовка, Березина и Люденевичи – и несколько проявлений (Скрипицкое, Глушковичи, Селище). Залежи плащеобразные, мощность их 1,2–29,3 м (в среднем 10 м), глубина залегания – от 13 до 35 м.

Прогнозные ресурсы оцениваются в 26,9 млн т. Предварительно разведаны два месторождения – Ситница (запасы по категории С1 – 6,5 млн т) и Дедовка (запасы по категории С1 – 6,3 млн т). Выход обогащенного каолина составляет 21,2–76,8 %. Они пригодны для производства фарфоровых и фаянсовых изделий, не требующих высокой белизны, а также шамотных изделий.

**8.2** **Обломочные породы**

1. Песок и гравий: общие сведения и применение в промышленности

2. Месторождения Беларуси

**1. Песок и гравий: общие сведения и применение в промышленности**

*Общие сведения. Песок* – рыхлая осадочная порода, представленная мелкими обломками и зернами различных минералов и горных пород разной формы, размеров и степени окатанности. По гранулометрическому составу среди них различают мелкозернистые (величина зерен 0,25–0,1 мм), среднезернистые (0,5–0,25 мм), крупнозернистые (1–0,5 мм) и грубозернистые (2–1 мм) разности. Минеральный состав песков весьма разнообразный: кварцевые, кварц-полевошпатовые, кварц-глауконитовые, смешанные и др.

*Гравий* – рыхлая осадочная порода, состоящая из более или менее окатанных обломков различных горных пород (гранита, кремнистых пород, кварцита и др.) и минералов (большей частью кварца), причем размер зерен в основном варьирует от 1 до 10 мм (по данным некоторых авторов, – от 2 до   
10 мм). Гравий в природе почти всегда встречается в смеси с песком, образуя песчано-гравийные и гравийно-песчаные породы, содержащие песок в количестве от 10 до 90 %.

*Песчаники* – осадочные сцементированные обломочные породы с зернами от 0,1 до 1 мм (по данным некоторых авторов, от 0,1 до 2 мм). По составу обломочных зерен выделяют песчаники трех основных типов: 1) мономинеральные (кварцевые), 2) олигомиктовые, 3) полимиктовые (граувакки, туффиты и др.). Цемент песчаников разнообразен (известковый, глинистый, кремнистый, железистый и др.).

*Кварциты* – это метаморфизованные и перекристаллизованные песчаники существенно кварцевого состава, в которых кварцевые зерна плотно прилегают друг к другу, образуя сплошную тонкозернистую массу, обладающую высокой механической прочностью.

*Свойства.* В основе применения в промышленности перечисленных выше горных пород лежат разнообразные физические и химические их свойства: рыхлость одних и механическая прочность других, абразивная способность зерен кварца, высокое содержание кремнезема и обусловленные этим огнеупорность и кислотоупорность. Залежи песка или гравия, разрабатываемые для заполнителей бетонов, должны быть чистыми, т. е. не содержать глинистого вещества, слюды и органических примесей. Для заполнителей бетонов очень важно такое свойство, как устойчивость к износу, особенно в тех случаях, когда бетон предназначен для дорожного строительства. Прочность заполнителя также имеет большое значение. Хороший заполнитель должен обладать большой устойчивостью к замораживанию и оттаиванию, увлажнению и усыханию. Трещиноватые и пористые обломки вредны, поскольку они могут расщепиться, расслоиться или растрескаться в бетоне. Имеет значение также форма частиц. Наиболее предпочтительны изометричные, округлые частицы, так как угловатые обломки делают бетон «шероховатым».

Свойства песка и гравия определяются тремя способами: визуальным осмотром, лабораторными испытаниями и петрографическим изучением.

*Применение в промышленности*. Песок и гравий применяются в качестве заполнителей, инертных и отощающих материалов в производстве строительного и силикатного кирпича, бетона, вяжущих растворов, стеновых блоков и т. п. Песок, гравий и щебень используются также для балластировки железнодорожных путей, устройства основания и подстилающего слоя автомобильных дорог. Фильтровальные пески применяются при создании мощных фильтровальных систем для очистки питьевой и технической воды, формовочные пески – для получения литейных форм и стержней, кварцевые пески – в стекольном производстве. Из кварцитов, обладающих большой механической прочностью, мелкозернистостью, малой пористостью и высокой кислотоупорностью получают материалы, используемые для сооружения кислотных башен, хранилищ для кислот и т. п.

*Генетические типы промышленных месторождений.* Основное промышленное значение имеют *экзогенные месторождения песка* и *гравия*, представляющие собой либо обломочные продукты выветривания, либо механические осадки, возникшие в результате переноса водными потоками или ветром продуктов выветривания различных коренных пород. Среди них выделяют аллювиальные, моренные, флювиогляциальные, морские и озерные песчаные и гравийно-песчаные отложения.

*Осадочные месторождения песчаников* сформировались в результате уплотнения и цементации песков, накопившихся в озерных или морских бассейнах. Цемент может быть первичным или вторичным. Залежи имеют, как правило, пластообразную форму, значительное распространение по площади и относительно выдержанную мощность. В пределах Восточно-Европейской платформы известны многочисленные месторождения кремнистых песчаников. Наиболее крупные из них: Тарасовское и Долотинское в Ростовской области (Россия) и Баническое в Сумской области (Украина).

*Метаморфогенные месторождения кварцитов* сформировались на низших ступенях регионального метаморфизма докембрийских и палеозойских песчаников. Залежи кварцитов представлены пластообразными и линзообразными телами. Такие месторождения имеются в пределах Украинского (Овручское) и Балтийского (Шокшинское, Сегозерское и др.) кристаллических щитов, Уральской геосинклинали (Рудничное месторождение на Среднем Урале).

**2. Месторождения Беларуси**

Месторождения песков стратиграфически связаны с четвертичной толщей, реже – с отложениями палеоген-неогена. Они, как правило, водно-ледникового и озерно-аллювиального происхождения, на юге Беларуси имеются также пески эолового генезиса. Песчано-гравийные и песчано-галечниковые образования обычно связаны с моренными и конечно-моренными, реже с аллювиальными и древнеаллювиальными аккумуляциями.

Сырьевая база строительных и силикатных песков включает около 80 месторождений с общими запасами 348,0 млн м3. Пески залегают на поверхности или близко от последней в виде линзовидных или пластообразных залежей различных размеров. Мощность отдельных залежей достигает 15 м. Разрабатывается более 35 месторождений. Среди них – Кульбаки, Оршанское, Песчаная Гора, Ольшанка и др. Ежегодная добыча составляет 7–8 млн м3.

Залежи формовочных песков выявлены в Жлобинском (месторождение Четверня) и Добрушском (Лениндар) районах Гомельской области. Месторождение Четверня эксплуатируется Жлобинским карьероуправлением, а Лениндар – Гомельским горно-обогатительным комбинатом. Ежегодно добывается 0,55–0,60 млн м3 формовочных песков.

Залежи песчано-гравийного материала широко распространены на севере и в центре Беларуси. По размерам они обычно небольшие (до 50 га), иногда более. Мощность продуктивной толщи – от 1–3 до 10–20 м. Гранулометрический состав непостоянный, содержание основных компонентов варьирует (%): гравия – от 5–10 до 75, гальки – от 0 до 55, песка – от 5–10 до 75, глинистых частиц – до 5–7. Разведано более 130 месторождений с общими запасами 704,4 млн м3, из них эксплуатируется около 80 месторождений. Ежегодно добывается 2,5–2,9 млн м3 песчано-гравийного материала.

**8.3 Карбонатные породы**

1. Общие сведения и применение в промышленности

2. Генетические типы промышленных месторождений

**1. Общие сведения и применение в промышленности**

Карбонатные породы сложены главным образом карбонатами кальция и магния, реже железа и марганца. Они достаточно широко распространены в земной коре, составляя более 15 % ее массы. К ним относятся известняк, мергель, мрамор, травертин, известковая гажа, мел, доломит, жильные карбонатные породы, карбонатиты и др. В составе этих пород, помимо собственно карбонатов, в качестве примеси нередко присутствуют глинистые частицы, кварц, полевые шпаты, хлорит, глауконит, углистое вещество, сульфаты и др. Среди карбонатных пород резко доминируют осадочные. Они формировались в морских, лагунных и озерных условиях хемогенным, кластогенным или органогенным путем. Подчиненное значение имеют породы метаморфогенного (мрамор и др.) и эндогенного генезиса (карбонатиты).

*Известняк* – осадочная порода, состоящая главным образом из кальцита или кальцитовых скелетных остатков организмов, очень редко из арагонита. Химический состав чистых известняков приближается к теоретическому составу минерала кальцита *СаСО3* (56,6 % *СаО* и 44,0 % *СО2)*. Наиболее частыми примесями в известняках являются: глинистые минералы, доломит, сидерит, опал, халцедон, кварц, оксиды и гидрооксиды железа и марганца, пирит, марказит, гипс, органическое вещество и др. Название известняков обычно дается в зависимости от особенностей слагающих их компонентов, или структуры (брахиоподовые, оолитовые, комковатые, кристаллические, обломочные и др.). Карбонатные породы с примесью глинистых частиц подразделяются на определенные группы (таблица 8.3).

*Доломит* – карбонатная порода, сложенная преимущественно минералом доломитом – *СaMg(CO3)2*. Основными примесями в доломитовой породе являются кальцит, глинистые минералы, опал, халцедон, сидерит, анкерит, кварц, оксиды и гидрооксиды железа и др. В природе доломит встречается в крупно, -мелко- и скрытокристаллических агрегатах. В осадочных формациях доломит слагает пласты, прослои, линзы и тела неправильной формы. В гидротермальных и рудных месторождениях доломит встречается в ассоциации с флюоритом, баритом, сульфидами, а также в измененных основных и ультраосновных породах. Доломит связан переходами с известняком, образуя ряд доломит–кальцит (таблица 8.4).

*Мел* – белая полусвязная порода, состоящая на 96–99 % из *СаСО3.* В составе карбонатовой части мела различают три группы компонентов:   
1) органические остатки (в основном морские планктонные водоросли – кокколитофориды; 2) кристаллы кальцита с хорошими гранями; 3) порошковатый кальцит.

Таблица 8.3 – Группировка карбонатно-глинистых пород   
в цементной промышленности стран СНГ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Порода** | **Массовая доля, %** | |
| **СаСО3** | **СаО** |
| Известняк | 100–95 | 56,0–53,2 |
| Известняк мергелистый | 95–90 | 53,2–50,4 |
| Мергель известковистый | 90–75 | 50,4–42,0 |
| Мергель | 75–40 | 42,0–22,4 |
| Мергель глинистый | 40–20 | 22,4–11,2 |
| Глина мергелистая | 20–5 | 11,2–2,8 |
| Глина | 5–0 | 2,8–0,0 |

Таблица 8.4 – Группировка известково-доломитовых пород   
(по С. Г. Вишнякову)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Порода** | **Массовая доля, %** | |
| **Кальцит, СаСО3** | **Доломит, СаMg(CО3)2** |
| Известняк | 95–100 | 0–5 |
| Доломитистый известняк | 75–95 | 5–25 |
| Доломитовый известняк | 50–75 | 25–50 |
| Известковый доломит | 25–50 | 50–75 |
| Известковистый доломит | 5–25 | 75–95 |
| Доломит | 0–5 | 95–100 |

*Применение в промышленности.* Карбонатные породы широко применяются в различных отраслях промышленности. Известняки и мел используются как сырье в промышленности вяжущих веществ для производства портланд-демента, воздушной и гидравлической извести. Особенно ценным сырьем для производства цемента являются так называемые «мергели-натуралы». В металлургии известняки и доломиты находят применение в качестве флосов при выплавке и первичной переработке железа и некоторых цветных металлов. Эти же породы используются в виде щебня или дробленого камня в качестве заполнителя бетона, дорожной щебенки, железнодорожного балласта и грубого фильтра для очистки сточных вод, а в более тонкомолотой форме – в виде известковой подкормки для птиц, для штукатурок, искусственного декоративного песка, наполнителя для побелочного материала. Карбонатные породы применяются в химической, пищевой, бумажной, резиновой, полиграфической и других отраслях промышленности. В сельском хозяйстве мел, доломит и известняк используются для известкования почв.

Наиболее чистые и свободные от примесей известняки, используемые в химической промышленности для получения соды, хлора, карбида кальция и других продуктов, должны содержать вредных примесей не более (%): *Al2O3+Fe2O3* 1–3; *MgO* 0,8–1,5; *SiO2* 1–3; *S* 0,05–0,15; *P* 0,006–0,010.

**2. Генетические типы промышленных месторождений**

Среди большого разнообразия месторождений карбонатного сырья выделяются три основных геолого-промышленных типа:

*1) субгоризонтальные пласты, линзы и горизонты* мела, мергелей, известняков и доломитов большого площадного распространения в разрезах платформенных карбонатно-терригенных формаций различного возраста (группа Вольских месторождений Восточно-Европейской платформы, месторождения мела и мергелей Могилевской области в Беларуси);

*2) круто- и пологопадающие пласты, линзы и пачки* *ритмичного чередования* мергелей, известняков и карбонатных глин мощностью в десятки метров в разрезах складчатых геосинклинальных карбонатно-терригенных флишевых толщ (Новороссийские месторождения);

3*) слабо наклонные, быстро выклинивающиеся пластовые, линзовидные и сложной формы залежи* доломитов и органогенных известняков с мелом и мергелями неравномерной, меняющейся мощности в десятки метров в составе карбонатных рифогенных, соленосных и терригенных толщ краевых и межгорных прогибов и внутренних впадин (месторождения штатов Индиана, Иллинойс, Огайо и др.).

*Месторождения карбонатных пород Беларуси.* Карбонатные породы, используемые для производства цемента и извести, представлены мелом и мергелями. На востоке республики (Могилевская и Гомельская области) они находятся в коренном залегании, а на западе и в центре (Гродненская и Минская области) встречаются в виде отторженцев. На площадях неглубокого их залегания, главным образом в Кричевском, Климовичском и Чериковском районах Могилевской области разведано более 10 месторождений. Среди них – относительно крупные: Кричевское, Коммунарское, Сожское, Каменка и др. Мощность меловых отложений варьирует от 10–20 до 50 м и более при глубине залегания кровли от 1 до 25 м. По составу залежи различны: Кричевское месторождение представлено писчим мелом, Коммунарское – мергелем, Каменка – мергелем и мелом. Содержание *СаСО3* в продуктивной толще колеблется от 65 % в мергелях до 98 % в мелах.

Сырьевая база цементной промышленности Беларуси включает 15 месторождений с общими запасами карбонатных пород для цемента по категориям А+В+С1 718 млн т. Разрабатывается 8 месторождений, на базе которых действуют РУП «Волковыскцементошифер», «Кричевце­ментошифер» и новый Белорусский цементный завод (БЦЗ). Добыча карбонатных пород для цементной промышленности ежегодно составляет около 3,7–4 млн т.

*Доломит* в Беларуси используется для производства доломитовой муки. Месторождения доломита в коренном залегании сосредоточены в Витебской области. В настоящее время разрабатывается карьер «Гралево» месторождения Руба. Продуктивными являются доломиты семилукского горизонта франского яруса верхнего девона мощностью 16–24 м, кровля которых залегает на глубине от 4,5 до 15,8 м. Среднее содержание карбонатов – 93,5 %, примеси представлены в основном алюмосиликатным материалом. Ежегодная добыча – 3,2–4,0 млн т доломита.

**8.4** **Соляные породы**

1. Общие сведения и применение в промышленности

2. Генетические типы промышленных месторождений

**1. Общие сведения и применение в промышленности**

Соляные породы часто бывают чистыми, т. е. стехиометрическими, по химическому составу (таблица 8.5). Поэтому химические анализы весьма точно выражают минеральный состав, и последний часто определяется без существенных пересчетов. Ниже приведены химические анализы соляных пород различных месторождений.

Таблица 8.5 – Минеральный состав соляных пород (в процентах)   
(по Н.В. Логвиненко)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Минералы | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Галит | - | 3,57 | 95,80 | 23,62 | 23,00 | 5,47 |
| Сильвин | - | 1,22 | 1,40 | 75,30 | 0,71 | - |
| Гипс | 98,00 | - | - | - | - | 3,50 |
| Ангидрит | - | 89,00 | 1,50 | 0,75 | - | - |
| Полигалит | - | - | - | - | 6,02 | - |
| Каолинит | - | - | - | - | 62,10 | - |
| Пикромерит | - | - | - | - | 8,17 | - |
| Глауберит | - | - | - | - | - | 88,35 |
| Кальцит | 1,14 |  | - | - | - | 2,38 |
| Прочие | 0,86 | 6,20 | 1,70 | - | - | 0,03 |

Породы: 1 – гипс; 2 – ангидрит; 3 – каменная соль; 4 – сильвинитовая порода; 5 – каинитовая порода; 6 – глауберитовая порода.

*К сульфатным породам* относятся гипсы и ангидриты, состоящие из соответствующих минералов, содержание которых может достигать 90 –98 %, однако, как правило, в тех или иных, иногда значительных, количествах присутствуют и различные примеси. Обычными компонентами сульфатных пород являются доломит, магнезит, галит, целестин, пирит, (марказит), опал, халцедон, кварц (как обломочный, так и аутигенный), флюорит, барит, гидроксиды железа, глинистый, иногда битуминозный материал, эпигенетические выделения самородной серы – как результат микробиальной сульфатредукции. Существуют и смешанные сульфатные породы – гипсовые ангидриты и ангидритовые гипсы (гипсо-ангидриты и ангидрито-гипсы).

*Гипсы* обычно светлые породы – белые, светло-серые, голубоватые, розовые, красные – массивной и слоистой текстуры. Породы мягкие, чертятся ногтем (твердость минерала по шкале Mаoca 2,0) и относительно легкие (плотность минерала гипса 2,3 г/см3).

Своеобразной разновидностью этой породы является *селенит* – волокнистый или игольчатый гипс с шелковистым блеском, образующий жилы и прослои в толще гипсов, причем кристаллы ориентированы перпендикулярно слоистости или стенкам трещин.

Селенит имеет вторичное происхождение и образуется при перекристаллизации гипса.

*Ангидриты* – светлые голубовато-серые, серые, иногда красно-бурые и черные прочные породы массивной, слоистой, в том числе тонкослоистой или нодулярной (желваковидной) текстуры. Поскольку минералогическая плотность ангидрита достаточно велика (2,9 – 3,0 г/см3), то и породы посравнению с другими осадочными породами относительно тяжелее.

Структуры гипсов и ангидритов кристаллические; их дальнейшее подразделение производится по размерам и форме кристаллов.

Первичные структуры обычно микро- и тонкозернистые, однако сохраняются они относительно редко. Вторичные структуры связаны прежде всего с перекристаллизацией, которая ведет к укрупнению размеров кристаллов и образованию кристаллобластовых равномерно-зернистых (гомеобластовых) и неравномерно-зернистых (гетеробластовых) структур.

Гипсы и ангидриты – породы пластичные, под действием давления – бокового или неравномерного вертикального – они относительно легко текут, и появляются новые вторичные структуры. Кристаллокатапластическая структура хорошо наблюдается в ангидритах, где первично прямолинейные кристаллы изгибаются, т.е. отмечается пластическая деформация. Более активное воздействие ведет к появлению кристаллокатакластических структур: порода как бы состоит из отдельных блоков-обломков со своей внутренней брусковидной или чаще кристаллокатапластической структурой, сцементированных тем же ангидритом, но более мелкозернистым и идиоморфнозернистым.

Первичные текстуры гипсов и ангидритов являются во многом общими для многих осадочных образований – это массивная и слоистая, причем последняя в свою очередь может быть обусловлена изменением состава или структуры пород, различается морфологией и характером поверхностей наслоения – существуют параллельно-слоистые, волнисто-слоистые, линзовидно-слоистые (и т.д.) текстуры.

Появление вторичных текстур, как и структур, также обусловлено тем, что сульфатные породы относительно легко растворимы и пластичны, они легко перекристаллизуются, текут, гидратируются и, напротив, дегидратируются, переходя друг в друга.

Дело в том, что первично в зависимости от условий осаждаются как гипсы, так и ангидриты. При погружении с увеличением давления и в меньшей степени температуры происходит дегидратация гипса, вода удаляется, и они переходят в ангидриты. Глубина, при которой происходит такой переход, обычно не превосходит 100–150 м, однако известны аномальные случаи обнаружения гипса на глубине до 850 м. Подобные превращения ведут к изменению первичных структур и текстур.

Одной из часто встречающихся текстур такого рода является нодулярная (желваковидная, желваковая). Плотные, округлые, овальные, линзовидные стяжения ангидрита либо непосредственно соприкасаются друг с другом, либо разделяются сульфатно-глинистым или сульфатно-доломито-глинистым материалом.

Напротив, при подъеме ангидрита к поверхности последний нередко гидратируется и переходит в гипс (или полугидрат CaSO4×0,5Н2O). При этом объем новообразованного гипса на 30 – 40 % (максимум до 65 %) больше объема исходного ангидрита. Подобное увеличение объема, особенно в окружении других пород, т.е. в замкнутом пространстве, обусловливает пластические деформации, что и ведет к появлению специфической плойчатой текстуры, представляющей собой мелкую постседиментационную, нетектоническую складчатость, нередко в виде червеобразно изгибающихся прослоев.

Весьма своеобразной текстурой сульфатных пород (а редко – и каменной соли) является строматолитовая, описанная в разрезах кембрия Восточной Сибири, девоне Днепровско-Донецкой впадины, перми Волго-Уральской и юре Амударьинской провинции, неогене Индоло-Кубанского прогиба.

Морфологически эта текстура аналогична таковой карбонатных пород, однако генезис ее не очевиден. Один из вариантов предполагает, что эта текстура вторична и представляет собой псевдоморфозу сульфатов по первично карбонатным строматолитам. Не исключено, однако, что примитивные организмы, каковыми являются строматолитобразующие цианобактерии, обитали в водах весьма высокой солености (так называемые галофильные бактерии не только переносят высокое осолонение, но и обитают исключительно в водоемах очень высокой солености), и их маты являются как бы матрицей и определяют морфологию, строение химически осаждающихся солей (напомним, что в карбонатах строматолитобразующие сообщества обусловливают биохимическое осаждение карбонатов за счет изменения рН среды).

Гипсы и ангидриты образуют пласты и пачки мощностью в десятки метров, а иногда и толщи в сотни метров, в том числе так называемые ангидритовые валы, формирование которых рассмотрено далее. Кроме этих мощных и относительно однородных толщ имеются и более локальные выделения в виде корок, линз, прослоев и кепроков.

Соляные породы *хлоридной группы* весьма разнообразны, но абсолютно преобладает каменная соль (эта порода является ведущей по объему и среди всех соляных пород вообще), в значительно меньшем количестве образуется сильвинит. Среди других хлоридных пород можно отметить карналлитовую (по породообразующему минералу – карналлиту *КС1МgС12×6Н2O*), бишофитовую (минерал бишофит *МgС12×6Н2O*), а также соответствующие смешанные породы – бишофит-карналлитовые, галит-карналлитовые, галит-бишофитовые. Во многих случаях с хлоридами ассоциируют легко растворимые сульфаты щелочных и щелочноземельных элементов – минералы кизерит, глауберит, полигалит, астраханит, эпсомит, а также сложные хлорид-сульфаты. Это также обусловливает формирование многочисленных, хотя количественно и очень ограничено распространенных смешанных пород солевой группы.

Для соляных галогенных пород характерны весьма крупные размеры кристаллов, часто значительно превосходящие размеры кристаллов других осадочных пород, поэтому нередко при описании соляных пород используют иную, отличную от общепринятой, градацию структур.

Так, выделяют микрозернистую (размер менее 1 мм), мелкозернистую (1 –3 мм) и гигантозернистую (более 10 мм) структуры. Напомним, что обычно микрозернистая структура ограничивается размером 0,005 – 0,05 мм, а гигантозернистая – размером более 2 мм.

*Каменная соль* – порода мономинеральная, состоящая из минерала галита (*NaCl*), содержание которого в некоторых разностях достигает 99 % и более, что делает ее одной из наиболее «чистых» пород вообще. Вместе с тем, в большинстве случаев имеется примесь ангидрита, магнезита, доломита, более редких солевых минералов, а также глинистого вещества, отмечаются зерна кварца и алюмосиликатов алевритовой, реже песчаной размерности. Эти зерна частично имеют обломочное, в том числе эоловое происхождение, но в значительной степени являются аутигенными. К последним относится, например, кварц в виде хорошо ограненных кристаллов. В зависимости от наличия и количества примесей в порядке увеличения их содержания выделяют пищевую, кормовую и техническую соль.

Наиболее чистая соль – белая и водяно-прозрачная, но из-за наличия примесей чаще всего серая, реже красная. Порода относительно легкая (плотность галита 2,2 г/см3), не прочная (твердость галита по шкале Mooca 2 –2,5), соленая на вкус.

*Сильвинит* – наиболее распространенная калийсодержащая соляная порода, состоит из двух минералов: галита (*NaCl*) и сильвина (*KCl*). Сильвин, как и галит, кристаллизуется в кубической сингонии, т.е. изотропен и образует такие же кристаллы, но в отличие от последнего имеет низкий показатель преломления (n = 1,490). Поскольку основное экономическое значение имеет именно калий, то обособление этой породы как самостоятельной отличается от принципа выделения пород по преобладающему компоненту. Так, содержание сильвина в породе может быть лишь 15 %, и тем не менее эта порода называется сильвинитом. Например, красный сильвинит Верхнекамского месторождения содержит 19,7 – 42,9 % сильвина и   
51,6 – 77,2 % галита, а пестрый сильвинит того же месторождения содержит 20,8 – 38,7 % сильвина и 54,5 – 76,7 % галита. Остальное в породе –различные примеси, главным образом глинистый материал и ангидрит

Красные и пестрые сильвиниты различаются также по структурно-текстурным признакам и характеру примесей.

Красные сильвиниты имеют соответственно названию красную и кирпично-красную окраску и отчетливо выраженную слоистость. Последняя выражена переслаиванием слоев сильвина и галита относительно равной мощности в 3 – 4 см, а также наличием тонких (1-2 мм) прослоев, сложенных ангидритом, карбонатами и глинистым материалом. Структура разнозернистая с преобладанием мелко- и среднезернистой.

Пестрые сильвиниты отличаются пестрой окраской, отсутствием слоистости и в связи с этим массивной и пятнистой текстурой. Структура разнозернистая, преимущественно средне- и крупнозернистая. Содержание сильвина и галита примерно одинаково. Зерна сильвина обычно молочно-белые с буро-красными оторочками, галита – серые, просвечивающие, с синими пятнами. Постоянную примесь составляют карбонаты (доломит и магнезит), ангидрит, глинистый и часто алевритовый материал.

Сильвиниты – породы легкие, не твердые, горько-соленые на вкус.

Каменная соль встречается в виде небольших выцветов, гнезд, линз, но абсолютно преобладают пласты, пачки и толщи мощностью в десятки, сотни и даже первые тысячи метров. В этих случаях с ними иногда связаны и калийные соли.

Как правило, в мощных однородных соленосных толщах первичное пластовое залегание бывает нарушено. Дело в том, что соль пластична и при давлении – боковом или неравномерном вертикальном – начинает течь. При этом в одних местах ее мощность сокращается, а в других, куда она нагнетается, – резко возрастает.

Вначале образуются относительно слабо выраженные изометричные или овальные поднятия вздутия («структуры панцыря черепахи») или вытянутые валы, а затем и очень резко выраженные солевые гребни и купола, разделенные межкупольными мульдами, где мощность соли минимальна или даже соли отсутствуют, так как полностью выжаты в соседние купола и гряды. Мощность солей в таких структурах достигает нескольких тысяч метров, но надо учитывать, что это мощность не первичная. Насколько можно судить по имеющимся реконструкциям первичные «пластовые» мощности, видимо, не превышают 2 – 2,5 тыс. м.

***Эволюция соленакопления в истории Земли.*** Первые отложения сульфатов отмечены *в среднем рифее* в Австралии (формация Биттер-Спрингс) и Северной Америке (Гренвильская серия). *Верхнерифейские и вендские* сульфатные формации уже развиты достаточно широко и известны в Восточной Сибири, Иране, Омане, Пакистане, Гренландии, ряде районов Северной Америки. По крайней мере с венда началось осаждение и каменных солей, и с этого времени соленакопление продолжалось в течение всего фанерозоя, однако оно было крайне неравномерным.

***Эпохами грандиозного соленакопления были ранний кембрий, вторая половина ранней – поздняя пермь, поздний триас, поздняя юра – ранний мел, в меньшей степени средний – поздний девон и миоцен. Отмечены также длительные временные интервалы, когда соленакопление было резко ограничено: поздний кембрий – ранний девон, ранний карбон, средний триас, палеоцен.***

***Палеозойское соленакопление*** было сосредоточено в небольшом числе грандиозных солеродных бассейнов, связанных преимущественно с эпиконтинентальными морями. К ним относятся Восточно-Сибирский и Ирано-Пакистанский в кембрии, Западно-Канадский, Северо-Сибирский,Днепровско-Донецко-Припятский в девоне, Восточно-Европейский, включая Прикаспийскую впадину, Германо-Североморский (Цехштейновый) и Мидконтинента США в перми и некоторые другие более мелкие.

В ***мезозое*** солеродных бассейнов стало больше, но масштабы соленакопления в них меньше палеозозойских, а сами бассейны более разнообразны по тектоническому положению.

В ***кайнозое*** количество бассейнов увеличилось при одновременном сокращении их размеров. Появились и играли существенную роль континентальные – озерные – соленосные толщи.

Параллельно с изменением масштабов и типов бассейнов соленакопления изменялся и вещественный состав соленосных отложений. В течение всего фанерозоя развиты гипсы, ангидриты, а также соленосные формации хлоридного типа. В перми и неогене к ним добавляются хлоридно-сульфатные формации с сульфатами калия и магния, а в неогене еще и карбонатами натрия.

Таким образом, в фанерозое намечается два крупных цикла соленакопления – *палеозойский и мезозойско-кайнозойский*. Каждый из них начинается длительным этапом накопления морских гипсов и главным образом хлоридов. Завершаются циклы относительно кратковременными пермским и неогеновым этапами образования также калийно-сульфатных формаций и континентальных озерных комплексов, причем в перми это относительно простые по минеральному составу галит-глауберитовые отложения, а в неогене минеральный состав их весьма разнообразен.

***Палеозойский и мезозойский этапы.*** Кембрийское, пермское, в меньшей степени девонское соленакопление в палеозое и миоценовое в кайнозое четко ассоциируются с периодами глобальных похолоданий и оледенений. Возникающее противоречие между аридным климатом, благоприятным или даже необходимым для соленакопления, и похолоданием – противоречие мнимое. В первом случае речь идет о климате конкретного региона, во втором – о глобальной температуре всего Земного шара.

А именно глобальные похолодания и даже оледенения ведут к увеличению контрастности климата, более резко проявляется климатическая зональность и, в частности, четко обособляются аридные зоны, где и происходит соленакопление.

При глобальных похолоданиях и оледенениях уменьшается общая влажность атмосферы. Наконец, связывание жидкой воды в ледники во время покровных континентальных оледенений ведет к понижению уровня Мирового океана, что, в свою очередь, способствует появлению подводных барьеров и изоляции водоемов, что и необходимо для соленакопления.

Даже во время последнего – вюрмского, далеко не самого мощного, оледенения уровень Мирового океана был на 140 –160 м ниже современного, а во время предпоследнего рисского – на 200 – 300 м. Об общем падении уровня моря в периоды похолоданий свидетельствует и соответствие кривых изменений климата и уровня моря.

В этом отношении мезозойское, позднетриасовое и позднеюрско-раннемеловое соленакопление, происходившее в эпоху глобального потепления, является несколько аномальным и обусловлено, видимо, иными причинами.

*Применение в промышленности.* Гипс и ангидрит используются преимущественно для производства гипсовых вяжущих материалов. Наиболее обычным видом таких материалов является строительный (штукатурный) гипс (алебастр). Он получается в результате обжига гипсовой породы (гипсового камня) при температуре до 130–180 о С и последующего тонкого размола продуктов обжига. Вследствие потери части воды возникает полуводный гипс 2CaSO4×H2O, который при смешивании с водой вновь переходит в двухводный и на воздухе затвердевает в камнеподобное тело.

Молотый гипс применяется при производстве портланд-цемента в виде добавки, корректирующей время схватывания последнего. Необожженный гипс в тонкоразмолотом виде используется в качестве цемента при малоэтажном строительстве, для отливки архитектурных деталей и отделки фасадов зданий, служит наполнителем для писчей бумаги, используется как сырье для производства сульфата аммония и как удобрение для некоторых видов почв. Чистые снежно-белые и ровноокрашенные разновидности применяются в качестве облицовочного камня, а волокнистая разновидность (селенит) – для поделок.

**2. Генетические типы промышленных месторождений**

Основными геолого-промышленными типами месторождений гипса и ангидрита являются: осадочные, остаточные и инфильтрационные.

*Осадочные месторождения* гипса и ангидрита образуются в эвапоритовых бассейнах из истинных растворов в процессе сгущения морской воды в аридных климатических условиях. Это наиболее распространенный и промышленно ценный тип месторождений рассматриваемого минерального сырья. Среди них выделяют сингенетические и эпигенетические месторождения. Первые образуются путем отложения гипса непосредственно из растворов в бассейнах (лагунах, заливах, усыхающих морях и т. д.), вторые – в результате гидратации ангидрита под воздействием нисходящих вод. Переход ангидрита в гипс сопровождается увеличением объема породы на   
30 % и более. На больших глубинах (600–1000 м и более) при высоком давлении гипс неустойчив, происходит его дегитратация и переход в ангидрит.

Залежи гипса в сингенетических месторождениях имеют форму линз и пластов мощностью до 20–30 м. Слои гипса часто перемежаются с другими породами и образуют гипсоносные свиты (толщи) мощностью до нескольких сотен метров. Формы эпигенетических залежей осложнены вследствие вздутия и вспучивания сульфатных пород при переходе ангидрита в гипс и вызываемых этими явлениями многочисленных нарушений в залегании пород. Формы рудных тел часто осложнены в результате растворения гипса поверхностными и подземными водами (карстовые явления). Залежи гипса осадочного происхождения достигают многих сотен квадратных километров. Месторождения этого типа известны в Республике Коми, Псковской, Тульской и других областях России, в Донецкой области Украины и в других странах.

*Остаточные месторождения типа «гипсовых шляп»* возникают в результате накопления гипса и ангидрита как остаточных продуктов при выщелачивании легкорастворимых минералов в соляных залежах. Они имеют ограниченное практическое значение.

*Инфильтрационные месторождения* образуются как путем метасоматического замещения гипсом карбонатных пород при воздействии на них сернокислых вод, так за счет растворения рассеянного в осадочных породах гипса, переноса его грунтовыми водами и последующего отложения в смеси с песчаными, глинистыми и известковыми частицами в виде гажи, глино-гипса, гипсита и др. Месторождения этого типа невелики и разрабатываются лишь для местных нужд.

*Месторождения и проявления гипса в Беларуси.* В разрезе платформенного чехла территории Беларуси гипс встречается в виде пластов, слоев, прослоев, прожилков и гнездовидных скоплений. Все известные проявления гипса стратиграфически связаны в основном с отложениями девона и перми.

В 1996–2000 гг. разведано относительно крупное *Бриневское месторождение гипса*, расположенное в Петриковском районе Гомельской области. Оно находится на западе Припятского прогиба в зоне сочленения Петриковского погребенного выступа и Шестовичской тектонической ступени и приурочено к промежуточному блоку-горсту субширотного простирания. Гипсоносная толща относится к среднефаменскому подъярусу, залегает на глубинах 142,8–460,3 м, имеет мощность 37,2–252,7 м. Сульфатонасыщенность ее составляет в среднем около 40 %.

В разрезе гипсоносной толщи выявлены четыре гипсовых горизонта, пронумерованные сверху вниз (I–IV). Основную промышленную ценность представляют III и IV горизонты. Мощность продуктивных пластов колеблется от 2–3 до 26,4 м. Они характеризуются высоким содержанием гипса (63,85–93,86 % по скважинам и 81,84–89,56 % по подсчетным блокам). Характерны зернистые, пластинчатые и волокнистые структуры, массивные, беспорядочные и брекчиевидные текстуры. Окраска гипса желтая, розовая, белая, серая и коричневато-серая. В разрезе IV горизонта относительно широко распространены гипсоангидритовые и ангидритовые породы. Запасы полезного ископаемого в целом по месторождению составляют: гипса по категории С1 – 177074 тыс. т, С2 – 163416 тыс. т, ангидрита по категории С1 – 96208 тыс. т, С2 – 41454 тыс. т. Запасы подсчитаны до глубины 300 м от земной поверхности.

**8.5** **Активные минеральные добавки**

1. Общие сведения и применение в промышленности

2. Генетические типы промышленных месторождений

**1. Общие сведения и применение в промышленности**

Еще в древности было известно, что смешением воздушной извести с вулканическим туфом можно получить гидравлически твердеющее вяжущее. Задолго до нашей эры греки для изготовления стойких в пресной и морской воде гидравлических растворов применяли туф Санторинского месторождения, а римляне – вулканический туф с месторождения Поццуоли. Такие добавки в последующем и были названы пуццоланами, а цементы, их содержащие, – пуццолановыми.

Известково-пуццолановые цементы, полученные путем совместного тонкого измельчения воздушной либо гидравлической извести с активной минеральной добавкой при небольшой дозировке гипса, отличаются медленным твердением, невысокой прочностью, малой воздухостойкостью. С появлением портландцемента известково-пуццолановые цементы постепенно утрачивали свое значение в гидротехническом строительстве. В настоящее время промышленное их [производство](http://proizvodim.com/) крайне ограничено. Однако стал широко применяться пуццолановый портландцемент, содержащий активные минеральные добавки.

***Активные минеральные добавки*** – это неорганические природные и искусственные материалы, обладающие гидравлическими и (или) пуццоланическими свойствами. При смешении в тонкоизмельченном виде с гидратной известью и гипсом при затворении водой они должны образовывать тесто, способное после предварительного твердения на воздухе продолжать твердеть под водой. Активные минеральные добавки вводят в состав цементов для улучшения их строительно-технических свойств. Добавками осадочного происхождения являются – диатомит, трепелы и опоки.

*К активным минеральным добавкам вулканического происхождения относятся пеплы, туфы, пемзы, витрофиры и трассы*. Это продукты извержения вулканов, отложившиеся на разном расстоянии от места извержения и в различной степени охлажденные; при резком охлаждении из пород быстро выделяются газы, что повышает их пористость. В зависимости от последующего воздействия атмосферных агентов и степени уплотнения они разделяются на рыхлые пеплы – пуццоланы, камневидные пористые – вулканические туфы и сильно уплотненные разности – трассы.

Для пемзы характерно пористое губчатое строение, она представляет собой вспученное вулканическое стекло. Витрофиры имеют порфировую структуру и состоят на 75–85 % из темного вулканического стекла. В их состав входят также полевые шпаты, кварц и др. Резкое охлаждение выбрасываемых из вулканов пород приводит к быстрой их закалке, что способствует образованию в них вулканического стекла. Они содержат также щелочные алюмосиликаты цеолитового характера, кристаллы полевого шпата, авгита и др. Иногда минералы бывают остеклованными.

*К искусственным добавкам относятся*: кремнеземистые отходы, получаемые при извлечении глинозема из глины; искусственные обожженные в соответствующих керамических печах либо в самовозгорающихся отвалах пустых шахтных пород глины и глинистые и углистые сланцы; золы, зола-унос и шлаки, получающиеся при сжигании некоторых видов топлива; для них характерно преобладающее содержание кислотных оксидов. В ГОСТ из этих добавок указаны только кислые золы-унос; стандартом регламентированы и такие искусственные добавки, как доменные гранулированные шлаки, а также белитовый (нефелиновый шлам), получаемый при комплексной переработке нефелинов и содержащий до 80% минерала белита, частично гидратированного.

Активные минеральные добавки способны химически взаимодействовать с гидроксидом кальция; в диатомите и трепелах в реакцию вступает содержащийся в их составе кремнезем. Реакция гидроксида кальция с кремнеземом начинается с поверхности зерен и постепенно захватывает более глубокие слои; образуются гидросиликаты тоберморитовой группы CSH (В) с явно выраженным пластинчатым строением кристаллов. Иногда кремнекислоту, содержащуюся в осадочных породах, называют «активной». В действительности активной, так же как и неактивной кремнекислоты не существует. Более сложной представляется природа гидравлической активности пород вулканического происхождения. Кремнезем и глинозем в них можно считать потенциально способными взаимодействовать с гидроксидом кальция. Однако это зависит от их структурных связей в составе породы. Наибольшей активностью обладает вулканическое стекло. Существенную роль в химическом связывании гидроксида кальция играют щелочные алюмосиликаты, являющиеся цеолитами и способные обменивать содержащиеся в них ионы щелочных металлов на ионы двухвалентных металлов и, в частности, извести. Как известно, такой ионный обмен смягчает жесткую воду. Исследования показали, что реакции обмена протекают в значительной степени при повышении температуры до 313–323 К, причем в течение года в раствор переходит до 85 % содержащихся в породе щелочей. Качество активных минеральных добавок будет зависеть также от содержания растворимого глинозема, т. е. в данном случае способного к взаимодействию с известью. Примерный химический состав активных минеральных добавок приведен в таблице 8.6.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 8.6 – Химический состав (%) активных минеральных добавок   |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | Добавка | SiО2 | Аl2О3 | Fe2О3 | СаО | MgO | SО3 | П. п.п. | | Трепел | 78,8 | 10,0 | 2,9 | 2,1 | 0,2 | 0,3 | 5,3 | | Диатомит | 84,9 | 3,0 | 1,2 | 2,1 | 0,4 | 0,3 | 7,7 | | Опока | 81,1 | 7,0 | 4,1 | 1,6 | 1,2 | 0,4 | 3,9 | | Глиеж | 75,2 | 13,2 | 4,7 | 1,4 | 0,9 | 0,7 | 2,5 | | Вулканический | 66,0 | 11,9 | 1,5 | 5,8 | 0,6 | 0,5 | П,1 | | Туф |  |  |  |  |  |  |  | | Пемза | 67,3 | 15,9 | 3,0 | 3,4 | 0,9 | 0,2 | 3,4 | | Трасс | 69,3 | 12,4 | 2,5 | 1,7 | 0,4 | – | 8,1 | | Зола-унос | 45,60 | 20–38 | 520 | 3–6 | 0,5-3,0 | 1–3 | 3–10 | |

Для получения физико-химической характеристики активных минеральных добавок необходимо применять методы химического, петрографического, рентгеноструктурного и дифференциального термического анализов. Наряду с этим необходимы всесторонние испытания цементов, полученных путем совместного тонкого измельчения клинкера и гипса с различным содержанием изучаемой активной минеральной добавки. Исследуются прочностные показатели цементов с активными минеральными добавками, при твердении выявляются их строительно-технические свойства по сравнению с исходным портландцементом в растворах и бетонах.

**8.6** **Естественные строительные материалы**

1. Общие сведения и применение в промышленности

2. Генетические типы промышленных месторождений

**1. Общие сведения и применение в промышленности**

К естественным строительным материалам относятся разнообразные осадочные, магматические и метаморфические горные породы, которые в натуральном виде либо после механической обработки используются в строительстве. Выделяют так называемый «рваный» камень (угловатые куски без обработки) и «штучный» камень (подвергшийся распиловке, шлифовке и др.).

У штучного камня тонкой обработке подвергается только одна поверхность, остальные обрабатываются грубо либо вообще не обрабатываются. Необработанный, или «рваный», камень подразделяемый по крупности обломков на дресву (дробленый песок или крошку), щебень и более крупные куски – бут, используется аналогично обломочным породам – песку и гравию.

В настоящее время в промышленном производстве существуют отрасли, связанные с этим сырьем: предприятия по получению и обработке облицовочных материалов из природного камня, по добыче и производству природных стеновых материалов и предприятия, производящие нерудные строительные материалы массового потребления (щебень, песок, гравий, бутовый камень, песчано-гравийные смеси). Соответственно этому среди естественных строительных материалов целесообразно выделять обломочные породы, строительные и облицовочные камни.

***Обломочные породы.*** Классификации обломочных пород по размерам зерен, принятые геологами различных стран и в строительной практике, существенно различаются. Так, согласно наиболее распространенной в нашей стране классификации, к пескам относят породы с размерами зерен 0,1-1 мм, гравию 1-10 мм, гальке 10-100 мм, глыбам 100-10000 мм; дальнейшее подразделение каждой из них на мелкую, среднюю и крупную разновидности. В других отечественных классификациях к пескам относят фракцию от 0,05 до 2 мм, а к гравию – от 2 до 10 мм. В американской классификации песок определяется как сыпучая горная порода с диаметром обломков 0,063-2 мм, гравий 2-4 мм, галька 4-64 мм.

При оценке, разведке и разработке месторождений обломочных пород как строительного сырья к пескам относят фракцию 0,05-5 мм, к гравию   
5-70 мм и к валунам – более 70 мм. Остроугольные неокатанные обломки горных пород, образующиеся либо при их выветривании, либо путем их дробления, с размерами от 3–5 до 70–150 мм в строительном деле относят к щебню или щебенке.

Обломочные породы представлены минеральными зернами или обломками горных пород, а также более тонкой фракцией заполняющего материала: пелитовой и алевритовой – в песках, пелитовой, алевритовой, песчаной – в гравии и т.д. По степени сортировки обломков эти породы разделяются на равно– и разнозернистые, а по составу – на мономинеральные, олигомиктовые (обломочный материал представлен двумя–тремя минералами) и полимиктовые, сложенные обломками различных горных пород и минералов.

Наиболее распространенные минералы: кварц, полевые шпаты, слюды и гидрослюды, карбонаты, глауконит, хлорит и многочисленные глинистые минералы; иногда в составе пород отмечается заметное количество магнетита, ильменита, титаномагнетита, а также примеси рутила, ильменита, циркона, граната и других промышленно ценных минералов.

В природе часто встречаются смеси грубо– и мелкообломочных пород, называемые по преобладанию соответствующей фракции песчаными, гравийно–песчаными и валунно – гравийно – песчаными образованиями. При их разработке производится разделение горной массы на песчаную (пески – отсевы), гравийную и валунную составляющие, причем гравий сортируется на стандартные фракции 5–10, 10–20, 20–40 и 40–70 мм; валуны измельчаются на щебень таких же фракций и дробленый песок или используются как строительный (бутовый или стеновой) камень.

В общем объеме добычи стройматериалов более 3/4 приходится на пески, гравий и песчано – гравийные смеси. Получают развитие морская добыча и скважинная гидродобыча.

Большая часть переработанных обломочных пород (классифицированные по крупности пески, гравий и щебень, а также песчано – гравийная смесь) с объемной массой более 1,8 г/см3 используется главным образом как заполнители бетонов и как балласт в дорожном строительстве.

Бетон является искусственным монолитным материалом, полученным в результате затвердевания смеси вяжущего вещества – цемента с водой, песком (мелким заполнителем), щебнем или гравием (крупным заполнителем), взятыми в определенных соотношениях. В строительстве наиболее широко применяется обычный тяжелый бетон с плотностью 2100–2500 кг/м3. Крупный заполнитель (щебень, гравий), образуя жесткий каркас бетона, увеличивает его прочность, уменьшает ползучесть и усадку, повышает его долговечность и сокращает расход цемента. Мелкий заполнитель определяет вязкость и другие реологические свойства бетонной смеси, изменяет ее водопотребность.

Качество заполнителей бетона определяется в основном составом и формой зерен. Оптимальными являются пески с преобладанием кварцевых зерен и гравий, состоящий из обломков кварца, изверженных и прочных осадочных пород. Желательно, чтобы зерна имели угловатую изометричную форму. Прочность бетона снижают аморфные модификации кремнезема, сульфиды, сульфаты, органические соединения и чешуйчатые минералы; поэтому их присутствие среди заполнителей недопустимо.

Особенность использования обломочных материалов при сооружении автомобильных дорог состоит в разнообразии требований к их качеству, обусловленных категорийностью дорог (5 категорий) и связанной с ней конструкцией дорожной одежды. Прочность щебня (гравия) и его морозостойкость должны соответствовать требованиям, предъявляемым к прочности и долговечности дорожной одежды. Необходимо выдерживать зерновой состав щебня (гравия) и песка, обеспечивающий необходимую плотность покрытий и фильтрационные свойства. Для оценки щебня, применяемого в асфальтово – бетонных смесях, важно его сцепление с битумом. Учитывая громадное количество этого сырья, требуемое при дорожном строительстве, оно должно относиться к местным материалам.

При строительстве железных дорог обломочные материалы используются для создания балластного слоя; применяется песчано–гравийная смесь, либо смесь гравия со щебнем, полученным при дроблении гравия, валунов и скальных пород. В этом случае существенны прочностные свойства пород, морозостойкость, истираемость и гранулометрический состав, обеспечивающий необходимую фильтрацию балластного слоя. Мелко– и тонкозернистые пески для балласта непригодны. Предпочтение отдается пескам и гравию с угловатой формой и шероховатой поверхностью зерен.

Помимо строительства пески находят применение и в других областях: при производстве силикатного кирпича, как формовочный материал в металлургии, как абразивный материал, как фильтровальный материал при очистке воды, в стекольном, керамическом, цементном производстве и в других областях. Каждая из них предъявляет свои специфические требования к качеству сырья. Так, для формовочных песков важны высокая газопроницаемость и огнеупорность; поэтому в них ограничена массовая доля глинистой фракции (до 1 %), содержание кремнезема должно быть не менее 97–98,4 % (то есть это мономинеральные кварцевые пески), содержание щелочей – 0,4–1 %; для них существенны также степень окатанности песчинок и их гранулометрический состав. Фильтровальные пески должны быть мелко– и равномернозернистыми с полным отсутствием глинистых частиц и органических примесей.

**2. Генетические типы промышленных месторождений**

Генетически залежи песков, гравийно–песчаных и валунно–гравийно–песчаных смесей, используемых в строительстве, достаточно разнообразны. Это всевозможные аллювиальные, ледниковые, морские, озерные, реже элювиальные, делювиальные, пролювиальные и эоловые (пески), обычно четвертичные образования.

*Аллювиальные месторождения*, образование которых связано с горными реками, характеризуются преобладанием обломков крупных размеров. Гранулометрический и петрографический состав пород в месторождениях равнинных рек более однородный. Месторождениям этого типа свойственны пластообразная вытянутая форма залежей, наличие в составе последних глинистых песков и суглинков. Мощность залежей редко превышает 10–20 м, а мощность вскрышных пород, представленных песками, супесями, суглинками и глинами, обычно колеблется от 0,5 до 2,5 м (Румянцевское месторождение и другие в Московской области).

Среди *ледниковых месторождений* выделяют *водно–ледниковые (флювиогляциальные) и собственно ледниковые*. Первые представлены длинными в сотни метров – километры невысокими (20–30 м) грядами шириной 20–200 м (озы) либо группами холмов (камы), сложенными непостоянным по гранулометрическому составу обломочным материалом, образующим линзы в толще песка, супеси и суглинка (Коломенское, Сычевское и другие месторождения в Московской области) и зандровые поля – песчаные с примесью гравия шлейфы за конечными моренами (месторождения Полесья и др.). Собственно ледниковые месторождения представлены холмообразными формами или грядами высотой до 100 м в районах конечных морен, сложенных несортированным песчано–гравийно–валунным материалом (Вяземское, Оршанское, Дровнинское месторождения и др.). Гранулометрический и петрографический состав ледниковых отложений весьма различен, В продуктивной толще мощностью в метры – десятки метров обычны линзы глин, суглинков, супесей, безгравийных песков.

Для *морских и озерных песчано–гравийных месторождений* свойственны большая протяженность залежей при незначительных ширине и мощности (до 10–15 м), резкая граница с подстилающими отложениями, хорошая окатанность и сортировка обломков, незначительная доля глинистых фракций. Древние месторождения развиты на древних террасах морей и озер. Современные месторождения находятся в прибрежной зоне морей; в их составе фиксируется органический материал (месторождения Черного, Азовского и Каспийского морей в странах СНГ; подводные месторождения США, Японии, Великобритании и других стран).

***Строительные и облицовочные камни.*** Горные породы как естественные камни в современном строительстве рассматриваются главным образом в качестве материала для облицовки фасадов и интерьеров зданий, а также для изготовления архитектурно–строительных деталей, от которых требуется особая прочность или погодоустойчивость. Они являются превосходным бортовым и другим штучным камнем. Уникальным видом штучного камня является так называемый монументальный камень, получаемый в особо крупных блоках и используемый для памятников, крупных декоративных сооружений, колонн и т. п. Отдельные изделия из такого камня являются национальным достоянием (например, Александровская колонна на Дворцовой площади и колонны Исаакиевкого собора в Санкт–Петербурге, изготовленные из монолитов гранита–рапакиви месторождения Возрождение близ ж/д станции Выборг).

Крупнокусковый рваный камень (бут) большой объемной массы, высокой прочности, минимальной пористости, водопоглощения и растворимости в воде используется для строительства плотин и других гидротехнических сооружений, а также фундаментов зданий.

Для сооружения стен, перегородок и перекрытий в виде штучного камня используются главным образом легкие породы (известняки, туфы и др.). Они характеризуются достаточно высокой пористостью, высокими теплоизоляционными свойствами, легко распиливаются на блоки и плиты, обладая при этом достаточной прочностью и морозостойкостью.

Декоративно–облицовочный камень и каменные архитектурные детали широко используются даже там, куда их приходится доставлять на значительные расстояния, так как доля этих изделий в общем тоннаже зданий сравнительно невелика. Для архитектурного оформления фасадов и интерьера камень является незаменимым по художественной выразительности и монументальности материалом, применение которого в то же время защищает здание от воздействия атмосферных процессов (облицовка) и повышает прочность строительных деталей (ступени, подоконники, половые плиты и др.).

Таким образом, необходимыми условиями для использования горных пород в качестве строительного и облицовочного камня являются их прочность и долговечность, соответствующая объемная масса и водопоглощение, морозостойкость, декоративность, блочность (возможность получения из массива блоков определенных размеров) и др.

Фзические и технические свойства, в первую очередь прочность и долговечность, определяются главным образом минеральным составом, структурно–текстурными особенностями, трещиноватостью и другими характеристиками горной породы. Из породообразующих минералов наиболее устойчивым к химическому и механическому воздействию является кварц; менее устойчивы полевые шпаты, пироксены, амфиболы и слюды, подвергающиеся разложению в процессе выветривания; присутствие сульфидов и вторичных минералов (хлорита, эпидота, талька и др.) свидетельствует о ее невысоких прочностных и декоративных (образование ржавых пятен при разложении сульфидов) свойствах. Порода массивной текстуры и мелкозернистой структуры в общем случае обладает большей прочностью по сравнению со своей полосчатой, крупно– или неравномернозернистой разновидностью. Наличие в породе микротрещин снижает морозоустойчивость и долговечность камня, а макротрещины предопределяют блочность породы при ее разработке.

Окончательная оценка горной породы как возможного строительного камня дается по результатам комплекса лабораторных испытаний, включающих определение объемной массы и плотности, пористости, водопоглощения, морозоустойчивости, прочности на сжатие, растяжение и изгиб, истираемости (абразивности), вязкости и др. Классификация горных пород, принятая в строительстве и архитектуре, основана на их важнейших физических свойствах. Предпочтительное использование магматических и метаморфических пород как облицовочных материалов связано с их относительной долговечностью.

Декоративность породы, определяемая ее цветом и текстурно–структурными особенностями, зависит также и от фактуры (способа обработки) поверхности. Различают колотую, пиленую, кованую, шлифованную (полированную) и другие фактуры.

Особое значение имеет оценка блочности породы. Выход блоков из горной массы определяется системой трещин отдельности: их ориентацией и частотой. Оптимальными являются горизонтальные или слабонаклонные трещины с расстояниями друг от друга 1,5–3 м; это так называемые <постельные> трещины, определяющие высоту блока и подуступы карьера при добыче. Вертикальные и наклонные трещины предопределяют форму добываемых глыб для разделки на блоки, а их густота – размеры этих глыб. Для разработки наиболее благоприятны трещины, падающие под углом 80–90 градусов.

По способу добычи принято деление блоков на пиленые, то есть добываемые камнерезными машинами (известняк, мрамор, травертин и др.), и колотые (гранит, габбро, лабрадорит и др.). Для стенового камня существуют три основных типа пиленых блоков (мм): 390×190×188; 490×240×188; 390×190×288; используются также неполномерные типы иных размеров. Блоки, предназначенные для получения облицовочных изделий, по своему объему подразделяются на пять групп. Принятая колотая фактура таких блоков допускает наличие неровностей глубиной (высотой) до 100 мм; обмер блоков производится по вписанному параллелепипеду. Колотые блоки распиливаются на облицовочные плиты стандартных размеров; предусмотрено получение полоски и шашки, используемых для настила полов в помещениях с интенсивным движением (вестибюли станций метро и общественных зданий).

Отходы при получении облицовочного камня могут использоваться в качестве дробленых отделочных материалов для получения поверхностей, обладающих высокими декоративными свойствами (например, крошка цветного мрамора).

В зависимости от генезиса пород морфология промышленных залежей месторождений строительных и облицовочных камней будет различной. Для магматических месторождений – это неправильные массивы и тела, покровы и потоки (месторождения гранитов, сиенитов, габбро, диоритов, базальтов, андезитов, риолитов, туфов и др.). Для метаморфических месторождений мраморов, кварцитов, гнейсов, амфиболитов свойственны пластообразные пологие и крутопадающие залежи. Осадочным месторождениям строительного камня (известняки, доломиты, песчаники и др.) присущи пластовые горизонтальные или пологие залежи.

В подавляющем большинстве случаев разработка этих месторождений осуществляется карьерами.

***Месторождения нерудных полезных ископаемых в Беларуси.***

*К цементному сырью* относятся 1) карбонатные породы (мергель, мел и т.д.) и 2) глины, смесь которых после обжига дает вяжущий материал – цемент.

Самым крупным месторождением мергеля является месторождение *«Коммунары»*(Костюковичский район Могилевской области), в котором мергель залегает на глубине 1,6 - 21 м. Мощность полезных слоев в этом месторождении составляет 18,7 – 29 м; содержание CaO – 20–44 %. Разведанные запасы месторождения составляют 385,5 млн. тонн. На базе этого месторождения действует Белорусский цементный завод.

Месторождение мергеля *«Каменка»* разрабатывается Кричевским цементным заводом. Запасы этого месторождения составляют около   
60 млн. т., содержание CaO колеблется от 37 до 53 %.

Месторождение *«Рось»* служит сырьевой базой Волковысского цементного завода; запасы – около 4 млн. т. В значительной степени данное месторождение выработано. В настоящее время в Беларуси работают три цементных завода, которые производят около 2 млн. т цемента в год, что не обеспечивает потребностей страны в этом ценном строительном материале.

*Огнеупорные и тугоплавкие глины*связаны с отложениями палеогена и неогена и встречаются главным образом в южных районах Беларуси (Гомельская и Брестская области). Эти глины используются для производства огнеупоров, тугоплавкого кирпича, дренажных труб, облицовочных плиток и др. Всего на территории Беларуси выявлено 6 месторождений огнеупорных и тугоплавких глин с суммарными запасами около 55 млн. тонн. Годовая добыча составляет около 362 тыс. тонн.

Месторождение «Городок» находится в Лоевском районе Гомельской области. Это месторождение было разведано в 1927г. Мощность полезных пластов здесь колеблется от 5,9 до 17,7 м. Запасы месторождения составляют около 27 млн. т. Температура плавления глины – 1380 – 1500 0С. Месторождение Городок интенсивно разрабатывается Речицким заводом канализационных труб.

Крупными месторождениями огнеупорных и тугоплавких глин являются также «*Столинские Хутора» и «Журавлево»* (Столинский район), разрабатываемые Горынским керамическим заводом.

*Стекольные и формовочные пески*. Для производства стекла необходимы чистые кварцевые пески, содержащие более 95 % кварца. Они не должны содержать железа, хрома или каких-либо органических примесей.

Месторождения стекольных песков связаны с отложениями неогена и палеогена. Наиболее крупным из них является месторождение «Ленино» в Добрушском районе Гомельской области. Здесь высококачественные белые кварцевые пески залегают на глубине от 20 см до 12 м и имеют мощность от 3,6 до 17,3 м. Месторождение «Ленино» интенсивно эксплуатируется Гомельским горно-обогатительным комбинатом по производству формовых песков.

Аналогичное строение имеет и месторождение *«Лоевское»,* пески которого используются стеклозаводами «Гута», «Октябрь», а также Гродненским и Минским формовочными заводами.

Для производства формовочных материалов и стекла, не требующего повышенной прозрачности, иногда используются пески четвертичного возраста, качество которых не очень высокое и содержание кремнезема составляет менее 95%. В указанной связи следует упомянуть месторождение «Жлобинское»***,*** приуроченное к аллювиальным отложениям первой надпойменной террасы Днепра. Пески этого месторождения используются для изготовления форм чугунного литья.

Всего в Беларуси насчитывается три месторождения стекольных песков с общими запасами около 15,4 млн. тонн и четыре месторождения формовых песков (запасы – около 62,5 млн. тонн).

*Строительный камень*(граниты, диориты архея-протерозоя, девонские доломиты, ледниковые валуны и др.). Все месторождения гранита и диорита находятся на юге и юго-востоке Беларуси в Лунинецком *(«Микашевичи», «Сенкевичи»)*, Житковичском *(«Житковичи»)* и Лельчицком (деревня Глушковичи, *карьер «Надежда»*) районах и располагаются в пределах Украинского щита. В Микашевичах граниты залегают под песчано-глинистыми отложениями кайнозоя на глубине от 7 до 53 м. На базе этого месторождения работает комбинат нерудных материалов «Микашевичи», добывающий около 5 млн. м3 камняв год. В перспективе планируется довести годовую добычу до 13 млн. м3 строительного камня в год.

*Кирпично-черепичные глины и строительные пески***.** Беларусь богата такими видами сырья, как кирпично-черепичные глины и строительные пески. Их используют в дорожном строительстве, а также для производства бетона и других строительных материалов. Все белорусские месторождения кирпично-черепичных глин и строительных песков связаны с разными типами четвертичных отложений и сконцентрированы главным образом в пределах Поозерья и Белорусской гряды.

**Раздел 9** **Черные металлы**

**9.1 Железо и марганец**

1. Геохимия, минералогия и металлогения

2. Генетические типы промышленных месторождений

**1. Геохимия, минералогия и металлогения**

***Железо*** является одним из наиболее широко распространенных элементов в земной коре. Его кларк равен 4,65 %. Повышенные концентрации (до двух кларков) наблюдаются в ультраосновных, основных и средних, а также метаморфических породах. В этих породах оно связано с пироксенами, оливином, амфиболом или биотитом. Известно четыре изотопа железа – *54Fe, 56Fe, 57Fe и 58Fe.* Оно обладает двумя устойчивыми валентностями; соединения *Fe2+* связаны преимущественно с эндогенными процессами, а *Fe3+* – с экзогенными. Коэффициент концентрации железа, представляющий отношения среднего содержания металла в промышленных рудах к его кларку, невысокий и равен 10. Имея много общего в строении атома, в химических и геохимических свойствах, железо вместе с *Ti, V, Mn, Cr, Ni, и Co* образует одно геохимическое семейство. В гипогенных условиях оно обычно ассоциирует с *Ti и V* в основных и с *Cr, Ni*, Co в ультраосновных изверженных породах. В зоне гипергенеза типична ассоциация железа с *Al, Mn,* реже с *Cr,* *Ni, Co и V*. Самородное железо в природе встречается редко. Железо является в основном литофильным и халькофильным элементом, но проявляет также сидерофильные тенденции. Трехвалентное железо устойчиво в растворе лишь при низком pH. При повышении pH резко возрастает гидролиз солей с образованием нерастворимого осадка *Fe(OH)3*. В случае наличия в растворе электролитов (солей *Ca, Mg*, щелочных металлов) *Fe3+* быстро осаждается. Коллоиды *SiO2* и гумусовых веществ предохраняют *Fe3+* от коагуляции. Двухвалентное железо менее чувствительно к электролитам, но устойчиво также только в кислой или нейтральной среде.

Известно около 300 минералов, содержащих железо. Среди них много породообразующих. Промышленное значение имеет относительно небольшая группа минералов. *Магнетит Fe3O4* (содержание *Fe* 72,4 %). Минерал группы ферришпинелей. Образует изоморфный ряд с магнезиоферритом *MgFe2O4* и непрерывные ряды с другими шпинелидами. Кристаллизуется в кубической сингонии, кристаллы октаэдрические, реже ромбододекаэдрические и кубические. Характерны агрегаты зернистые, друзы, радиальнолучистые, почковидные, оолитовые, сажистые и др. Сильно магнитен. Черный, иногда с синеватой побежалостью. Черта черная. Блеск полуметаллический до металлического. Твердость 5,5–5,6, удельльная масса 4,8–5,3 г/см3. Магнетит с примесью *TiO2* называется *титаномагнетитом*, а с примесью *V2O5*– *кульсонитом*. *Гематит Fe2O3*(*Fe* 70 %) кристаллизуется в тригональной сингонии. Кристаллы пластинчатые, ромбоэдрические, редко призматические и скаленоэдрические. Агрегаты листоватые (*железная слюдка*, *железная роза*), чешуйчатые и жирные на ощупь (*железная сметана*), плотные, скрытокристаллические (*красный железняк*), натёчные, почковидные (*красная стеклянная голова*, *крововик*), землистые, оолитовые и др. Цвет минерала черный, стально-серый. Черта вишнево-красная, блеск полуметаллический, алмазный. Твердость 5–6, удельная масса 5,26 г/ см3. *Мартит Fe2O3* (*Fe* 70 %) – псевдоморфозы гематита по магнетиту. Образуется на месторождениях латеритного выветривания и в железных шляпах. *Бурый железняк*: природные гидрооксиды железа – *гётит* (*FeO×OH*) и *гидрогётит* (*FeO*××*OH*×*nH2О*) в смеси с гидрооксидами кремнезема и глинистым веществом (*Fe* 48–63 %). *Сидерит FeCO3* (Fe 48,3 %). Существуют изомофные ряды *FeCO3 – MgCO3 и FeCO3 – MnCO3.* Разновидности марганецсодержащих минералов – *манганосидерит*, *олигонит*, магнийсодержащих минералов – *сидероплезит*, кальцийсодержащих – *сидеродот* и кобальтсодержащих – *кобальтолигонит* и *кобальтферосидерит*. Силикаты железа – *шамозит* и *тюрингит* (*Fe* 27 – 38 %).

Сернистые и мышьяковистые соединения железа (*пирит*, *арсенопирит* и др.), несмотря на высокое содержание *Fe*, не могут являться минералами, представляющими промышленный интерес в качестве руд железа, так как *S* и *As* являются вредными компонентами в составе железных руд.

Железорудные месторождения образовывались во все эпохи: начиная с позднего архея и раннего протерозоя до миоцена и плиоцена включительно. На геосинклинальном этапе основная концентрация железа происходит на ранней стадии и тесно связана с базальтовым магматизмом, когда формируются магматические и скарновые месторождения железных руд. Средняя и поздняя стадии геосинклинального цикла для железа мало продуктивны.

Экзогенные железорудные месторождения начали формироваться в *раннем протерозое*, когда существовали специфические условия переноса железа, поступавшего с континентов в водные бассейны. Железо, по-видимому, переносилось в виде бикарбонатов в глубинные области океана, где осаждалось в виде гидрооксидов и частично карбонатов совместно с кремнистыми образованиями. Последующий метаморфизм таких образований мог привести к формированию железистых кварцитов, с которыми связаны огромные запасы железорудного сырья. Осадочные месторождения железа, возникшие в более поздние эпохи, формировались в основном в зоне шельфа за счет соединений железа, поступавших с суши, предварительно испытавших интенсивное латеритное выветривание. Перенос железа осуществлялся в виде коллоидных растворов, предохраненных гумусовыми кислотами от коагуляции. В зависимости от изменения окислительно-восстановительного потенциала в области накопления осадков возникали бурожелезняковые либо силикатные железные руды.

*Докембрийская эпоха* была исключительно благоприятной для формирования крупных и уникальных месторождений железорудного сырья. К ним относятся месторождения железистых кварцитов и образованным по ним богатых мартит-гематитовых руд Кривого Рога (Украина), КМА (Россия), Западной Австралии (месторождение Хамерсли), района Лабрадора (Канада), озера Верхнего (США, Канада), штатов Бихар и Орисса (Индия), Минас-Жерайс (Бразилия) и др.

*Раннепалеозойская эпоха* по сравнению с докембрийской характеризуется менее значительным железооруденением, связанным с каледонским тектогенезом. Месторождения железных руд встречаются во многих странах мира, но удельный вес их в мировых запасах и добыче относительно невелик. Наиболее крупные месторождения этого возраста известны в Северной Америке – Уобана (провинция Ньюфаундленд в Канаде) и месторождения Бирмингенского района штата Алабама в США.

В *позднепалеозойскую эпоху* образовался ряд месторождений в СНГ. Большая часть их представлена контактово-метасоматическими магнетитовыми рудами, генетически связанными с гранитоидами. К ним относятся месторождения Тагило-Кушвинской группы на Урале (Высокогорское, Горноблагодатское и др.); в Кузнецком Алатау (Тейская группа), Горном Алтае (Инское, Белорецкое и другие месторождения). В Казахстане месторождения этого возраста известны в Кустанайском рудном районе (Качарское, Сарбайское, Соколовское и др.), а также в Центральном Казахстане (Атасуйская группа, в которой наиболее крупным является месторождение Западный Караджал). Многочисленные, но относительно небольшие месторождения имеются в Западной Европе – в Австрии, Бельгии, Франции. Издавна разрабатываются сидеритовые месторождения Австрии в Восточных Альпах, в районе развития девонских отложений, представленных граувакками, известняками, филлитами, кварцитами и песчаниками. Из них наиболее крупным является месторождение Эрцберг. Месторождения этого возраста выявлены также в Алжире, Ливии и других странах Северной Африки.

В *мезозойскую эпоху* были образованы многочисленные осадочные морские и континентальные (речные и озерные) железорудные месторождения на молодых эпигерцинских платформах и плитах. Накопление железных руд происходило в больших масштабах. Одной из крупнейших в мире является Западно-Европейская провинция, где образовались оолитовые железные руды, состоящие из лимонита и гематита и в меньшей степени из сидерита и шамозита. Большая часть этой провинции находится на территории Франции. Крупные месторождения железных руд юрского возраста сосредоточены в Великобритании – в Линкошире (месторождение Фродингем), Йоркшире (месторождение Кливленд), Оксфоршире (месторождение Банбери) и др. В Германии наиболее значительные месторождения расположены в районе Зальцгиттера. Здесь рудоносен базальный конгломерат нижнего мела мощностью 5–100 м. С ним связаны оолитовые бурые железняки. Содержание железа в рудах 25–33 %,   
SiO2 17–30 %, CaO 4– 9 %, P менее 0,9 %.

В Северной Африке в мезозойскую эпоху сформировалась многочисленная группа железорудных месторождений (тип Бильбао). Они отличаются небольшими запасами (от 1 до 20–30 млн т), реже до 100 млн т, но характеризуются высоким качеством руд (среднее содержание железа около 52 %). К этой группе принадлежат месторождения замещения в известняках юры и мела: в Алжире месторождения Уэнза, Бу-Кхарда, Бени-Суэйф; в Марокко – Уиксон; в Тунисе – Джерисса, Дуария и др. В Азии мезозойские месторождения железных руд известны в Китае и Малайзии. В Китае они представлены несколькими типами. В провинции Хубэй разведана группа месторождений Дае. Рудные залежи расположены на контакте известняков триаса с интрузиями диорита и сиенита. Они представлены в основном гематитом, местами магнетитом, реже лимонитом. Содержание железа 57,6–60,5 %, P 0,03–0,1 %, S 0,06–0,32 %, SiO2 5,9–9,4 %.

На территории России выделены: Северо-Евразийская металлогеническая провинция, в пределах которой расположены: Липецкий и Тульский бассейны сидерит-гидрогётитовых руд; месторождения сидерит-гидрогётитовых руд Горьковской и Вятской областей; месторождения инфильтрационного типа Алапаевской группы восточного склона Урала; Хоперский железорудный район; Аятский бассейн морских руд (K2) в Восточном Зауралье; Западно-Сибирский бассейн морских оолитовых руд в среднем течении р. Обь. Многочисленные месторождения железных руд известны в пределах Сибирской платформы в области развития траппов пермо-триаса, тяготеющих к краевым частям Тунгусской синеклизы.

*Кайнозойская эпоха* характеризовалась исключительно широким проявлением процессов формирования железных руд, которые привели к образованию: 1) многочисленных месторождений латеритного типа в Америке, Азии, Океании и Африке; 2) осадочных (морских и континентальных) месторождений на территории СНГ, Западной Европы, Северной Америки и Африки; 3) скарновых месторождений в Румынии, Индонезии, Мексике и других странах. Для этой эпохи характерны крупные ресурсы железа, заключенные в месторождениях латеритных руд, которые часто содержат промышленные концентрации Ni и Co. На территории СНГ крупнейшим по запасам руд является Керченский бассейн, включающий Северное Причерноморье, восточную часть степного Крыма, Керченский и Таманский полуострова. Месторождения осадочных руд третичного возраста известны в ряде стран Западной Европы – Дании, Германии (Кессенберг, Грюнтен), Бельгии (Герольд), Швейцарии (Делемон)***.***

***Марганец.*** Среднее содержание марганца в земной коре составляет   
0,1 %, т. е. кларк его в 40 раз меньше кларка железа. Повышенные концентрации этого элемента (до 1,5 кларка) наблюдаются в основных и ультраосновных породах. Из осадочных пород больше всего обогащены марганцем глинистые сланцы. Содержание его в морской воде очень малое (4⋅10-7 %). Марганец состоит из одного изотопа *55Mn*. В периодической системе химических элементов марганец находится рядом с железом и поэтому многие геохимические особенности этих элементов сходны. Он обладает двумя устойчивыми валентностями: соединения *Mn2+ и Fe2+* замещают друг друга в эндогенных процессах, а *Mn4+ и Fe3+* в экзогенных процессах. Эндогенные обособления марганца не имеют промышленного значения. Под воздействием угольной кислоты и воды марганецсодержащие минералы разлагаются с образованием растворимого и довольно устойчивого соединения *Mn(HCO3)2*. Он также переносится в виде коллоидных растворов, оксидных соединений, взвеси тончайшего обломочного материала.

Общее число марганцевых минералов, встречающихся в природе, превышает 150. Однако широко распространенных и содержащих повышенное количество Mn минералов немного. *Пиролюзит MnO* (содержание *Mn* 55–63 %). Кристаллизуется в тетрагональной сингонии, габитус кристаллов призматический, игольчатый, изометрический, агрегаты зернистые, скрытокристаллические, волокнистые, радиальнолучистые, почковидные, конкреционные, сажистые и т. п., твердость 6–6,5, удельная масса 4,7–5,0 г/cм3. *Манганит Mn2O3×H2O* (*Mn* 50–62 %). Кристаллизуется в моноклинальной сингонии, габитус кристаллов призматический, агрегаты тонкокристаллические, оолитовые, натечные, зернистые и друзы. Цвет темно-серый до черного. Черта красновато-коричневая до черной, твердость 4, удельная масса 4,3 г/см3. *Браунит Mn2O*3 (*Mn* 60–69 %), *гаусманит Mn3O4* (*Mn* 65–72 %), *псиломелан MnO*×*MnO2*×*nH2O* (*Mn* 40–60 %), *родохрозит MnCO3* (*Mn* 40–45 %), *манганокальцит (Ca,Mn) CO3* (*Mn* 7–25 %), *манганосидерит (Mn,Fe)×CO3* (*Mn* 23–32 %), *родонит MnSiO*3 (*Mn* 32–36 %), *вернадит MnO2⋅nH2O* (*Mn* 40–45 %).

В геосинклинальных условиях основная концентрация ***марганца*** происходила на ранней стадии, когда в прибрежных бассейнах накапливались осадочные руды. Средняя и поздняя стадии геосинклинального цикла для марганца не продуктивны. На платформенном этапе формировались марганцевые месторождения осадочной группы и выветривания.

Фациальные условия образования осадочных марганцевых руд напоминают обстановки отложения руд железа. В распределении марганцевых руд намечается зональность: первичнооксидные руды отлагаются в прибрежной зоне среди осадков песчано-алеврито-глинистого состава; по мере удаления от берега оксидные руды постепенно сменяются карбонатными (родохрозит, манганокальцит, кальциевый родохрозит), ассоциирующими с глинами, кремнистыми глинами и опоками.

Метаморфизованные месторождения возникли в результате многоэтапного регионального метаморфизма. Как известно, они широко распространены в Индии. При низкой ступени метаморфизма оксиды и, возможно карбонаты марганца были превращены в брауниты, а кремнистые породы – в кварциты. При средних ступенях метаморфизма возникали силикаты марганца, частично происходила перекристаллизация браунита.

Марганцевые месторождения формировались в различные эпохи развития земной коры, от докембрийской вплоть до кайнозойской, а железо-марганцевые конкреции накапливаются на дне Мирового океана и в настоящее время. В *докембрийскую металлогеническую эпоху* сформировались мощные геосинклинальные образования, характеризующиеся в ряде случаев высокопродуктивными марганценосными толщами (гондиты в Индии, марганецсодержащие железистые кварциты в Бразилии и т. д.). Значительные по запасам месторождения марганца докембрийского возраста известны в Гане (месторождение Нсута-Дагвин), а крупные в ЮАР (юго-восточная часть пустыни Калахари).

Для *раннепалеозойской эпохи* марганец мало характерен. Сравнительно небольшие промышленные месторождения марганца этого возраста известны в Китае, США и восточных районах России. В Китае наиболее крупным из них является месторождение Шаньвуту, расположенное в провинции Хунань. В России месторождения марганца известны в Кузнецком Алатау, а также на Дальнем Востоке (Малый Хинган).

*Позднепалеозойская эпоха* для марганца имеет сравнительно небольшое практическое значение. Удельный вес месторождений марганцевых руд этого возраста в мировых запасах и добыче невелик. Небольшие по масштабам месторождения известны в Западной Европе, Северной Африке, Юго-Восточной Азии, а также в СНГ. Наиболее крупные по запасам месторождения разведаны в Центральном Казахстане – Джездинское и Ушкатын-III. На месторождении Ушкатын-III выявлено 14 марганцевых и 8 железорудных тел. Запасы подсчитаны в четырех рудных телах. Среднее содержание Mn 26,5 %. Основные рудные минералы в первичных рудах – гаусманит, браунит и гематит, во вторичных – псиломелан, пироморфит и манганит.

В *мезозойскую эпоху* сформировались рудопроявления марганца в связи с позднемеловым (Закавказье, Забайкалье) и юрским (береговые хребты Северной Америки, Новая Зеландия) вулканизмом. Месторождения марганца этого возраста имели также небольшое практическое значение. Ситуация резко изменилась в связи с открытием в конце 1960-х годов крупного месторождения Грут-Айленд в Австралии.

*Кайнозойская эпоха* отличается уникальным накоплением марганцевых руд на южной окраине Восточно-Европейской платформы (Никопольский бассейн, Чиатурское, Мангышлакское и другие месторождения). В эту эпоху сформировалось крупное месторождение Оброчиште в Болгарии, а также Моанда в Габоне. Рудоносными на всех этих месторождениях являются песчано-глинистые отложения, в которых рудообразующие минералы присутствуют в форме конкреций, оолитов, стяжений и землистых скоплений. Сравнительно небольшие месторождения марганцевых руд третичного возраста образуют Уральский марганцеворудный бассейн, охватывающий восточный склон Уральского хребта. Он простирается в субмеридиональном направлении почти на 150 км. На этих месторождениях рудный горизонт приурочен к основанию третичной толщи и включает 1–2 пласта марганцевых руд мощностью 1–3 м.

**2. Генетические типы промышленных месторождений**

Железорудные месторождения промышленного значения весьма разнообразны. Среди них выделяются: 1) магматические, 2) карбонатитовые, 3) скарновые, 4) вулканогенные гидротермальные, 5) вулканогенно-осадочные, 6) кор выветривания, 7) осадочные и 8) метаморфогенные. Основные запасы железных руд в земной коре связаны с метаморфогенными и осадочными месторождениями.

*Магматические месторождения.* В группе собственно магматических месторождений железных руд выделяются два класса, связанные: 1) с кислыми изверженными породами и 2) с основными и ультраосновными породами.

Типичным представителем первого класса является месторождение *Кирунавара*, расположенное в Северной Швеции. Магматические месторождения, связанные с основными и ультраосновными породами, представляют собой зоны концентрированной вкрапленности с шлировыми и жило-линзовидными обособлениями титаномагнетита. Основным рудным минералом месторождений этого класса является титаномагнетит со структурой распада твердого раствора, представляющего собой магнетит, содержащий тонкопластинчатые вростки ильменита. В подчиненном количестве отмечаются зерна магнетита, ильменита и шпинели. Месторождения этого класса широко известны на Урале (Качканарское, Кусинское и др.), в Горном Алтае (Харловское), в США (Тегавус), ЮАР и других странах.

*Карбонатитовые месторождения.* С карбонатитовыми массивами нередко связаны железорудные месторождения. Они приурочены, как правило, к щелочно-ультраосновным интрузивам центрального типа. Характерны перовскит-титаномагнетитовые и апатит-магнетитовые руды. Такие месторождения известны в России на Балтийском щите (Ковдор, Африканда), Сибирской платформе (Гулинский массив), на Африканской платформе (Сукулу в Уганде, Дорова в Зимбабве, Люлекоп в ЮАР и др.).

Типичным примером может служить *Ковдорское месторождение.* Оно расположено в Кировском районе Мурманской области и приурочено к одноименному массиву ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов.

*Скарновые (контактово-метасоматические) месторождения* связаны с умеренно кислыми интрузивами (гранодиоритами, кварцевыми диоритами), контактирующими обычно с карбонатными толщами. Они широко распространены на Урале (Высокогорское, Гороблагодатское и др.), в Казахстане в Кустанайской области (Соколовское, Сарбайское, Качарское и др.), Горной Шории и Хакассии (Тейское, Тельбес, Таштагол, Абаканское и др.), США (Айрон-Спрингс, Адирондак), Марокко (Риф), Румынии (Банат) и других странах.

Месторождения представлены пластообразными залежами, линзами, гнездами сплошных руд и вкрапленностью магнетитов в скарнах. Состав скарнов разнообразен: встречаются гранатовые, гранат-эпидотовые, пироксен-гранатовые, актинолитовые и эпидот-хлоритовые. Содержание железа в рудах варьирует от 20 до 70 %. Нередко присутствует сера (до 3 %), связанная с вкрапленностью в рудах пирита и халькопирита.

*Вулканогенные гидротермальные месторождения* парагенетически тесно связаны с траппами. Они широко распространены на Сибирской платформе, где образуют ряд железорудных районов: Ангаро-Катский, Ангаро-Илимский, Среднеангарский, Канско-Тасеевский, Тунгусский, Бахтинский и Илимпейский. Месторождения залегают в палеозойских отложениях платформенного чехла. Область их распространения контролируется развитием интрузивных траппов, ниже которых в разрезе залегают галогенные отложения. С ними связывают образование хлоридов железа, которые мигрировали в вышележащие комплексы пород. Путями интенсивной миграции этих растворов являлись тектонические разрывы, а также, возможно и трубка взрывов. В результате их воздействия происходили метасоматические изменения пород и оруденение. Рудные тела жилообразной, линзообразной и часто неправильной формы. Наиболее богатые рудные зоны сложены как телами сплошных, так и брекчиево-вкрапленных и вкрапленных руд. Содержание железа в рудах варьирует от 25 до 60 %. Рудообразующий магнетит всегда содержит изоморфную примесь магния и относится к разности магномагнетита.

*Вулканогенно-осадочные месторождения* встречаются относительно редко. К ним относится Западный Караджал в Казахстане, Терсинская группа в Кузнецком Алатау, в Алжире Гара Джебилет и Мишери Абделазис, в Германии месторождения Лан и Дилль. Они пространственно связаны, как правило, с синклинальными зонами эвгеосинклинальных формаций. Рудные пласты обычно деформированы вместе с вмещающими их толщами. Руды сложены гематитом, магнетитом и сидеритом. В них встречаются сульфиды – пирит, халькопирит, арсенопирит, сфалерит, галенит, а среди нерудных (жильных) минералов – серицит, хлорит, кварц, опал, халцедон, доломит, анкерит, апатит и др. Промышленное значение месторождений этой группы невелико.

*Месторождения выветривания.* Они чаще всего представлены: 1) латеритами и 2) железными шляпами. *Месторождения железистых латеритов* образуются при выветривании массивов основных и ультраосновных пород в условиях влажного тропического климата. В этих обстановках происходит разложение силикатов, содержащих двухвалентное железо с образованием лимонитовых руд обогащенных *Ni, Co, Cr, и Mr*, т. е. возникают природно-легированные руды. Крупнейшие месторождения, связанные с корой латеритного выветривания, находятся на Кубе. Латеритный покров мощностью от 5 до 30 м развит на площади 150 км2 и прослеживается с перерывами на несколько десятков километров. Руды сложены землистым элювием, содержащим гидрооксиды железа, гематит, остатки серпентинита с примесью зерен хромшпинелидов, силикатов никеля. Руды содержат (%): *Fe* 40–50, *Cr2O3* 1,5–1,8 (до 4), *Ni* 0,7–0,8 (до 2,5), *Mn* 0,5–3, *P* сотые доли, *S* до 0,2, *SiO2* 18–30 и *Al2O3* 10–12. Возраст месторождений третичный, общие запасы их 15 млрд т. Наиболее крупными являются месторождения Моа и Майари.

*Месторождения железных шляп* образуются при окислении сульфидных или сидеритовых руд. Руды чаще всего сложены гидрооксидами железа. Они имеют пористое, ячеистое, кавернозное или колломорфное строение. В рудах железных шляп сохраняются некоторые ценные элементы – *Au, Ag, Pb*, *Ni* и др.

*Осадочные месторождения.* Распространены весьма широко и имеют важное экономическое значение, занимая второе место среди других генетических типов железных руд. По условиям образования они разделяются на морские и континентальные.

*Осадочные морские месторождения* образуются в результате переноса железа речными подземными водами в виде тонких и грубых взвесей, коллоидных растворов и коагуляции их при встрече с солеными водами морских бассейнов. Рудоотложение часто происходит при трансгрессии моря, что способствует формированию руд с оолитовыми структурами. Среди них выделяются оксидные руды, состоящие из гидрооксидов железа, силикатные руды, представленные главным образом железистыми хлоритами, и карбонатные – существенно сидеритовые руды. Морские осадочные месторождения встречаются среди отложений различного возраста – от протерозойских (Нижнеангарское месторождение) до третичных включительно (Керченский железорудный бассейн, месторождения в Нигере и Бенине и др.). В рудах морских осадочных месторождений содержание Fe колеблется в пределах 20–50 %, чаще составляет 30–40 %.

Среди осадочных морских железорудных месторождений различают *геосинклинальные* и *платформенные.* Первые представлены сидеритовыми пластовыми месторождениями в морских терригенно-карбонатных отложениях (Бакальская группа месторождений Западного склона Южного Урала) и морскими гематитовыми месторождениями в терригенно-карбонатных отложениях (Нижнеангарское, Клинтон в США). Платформенные морские месторождения сложены сидерит-лептохлорит-гидрогематитовыми рудами (Аятский, Керченский, Западно-Сибирский, Лотарингский бассейны).

*Осадочные континентальные месторождения* представлены преимущественно бурожелезняковыми рудами озерного и болотного генезиса. Такие руды широко распространены на Восточно-Европейской платформе и известны в Тульской и Липецкой областях. Они характеризуются низким содержанием железа (до 30–40 %). Наиболее крупное месторождение этого типа – *Лисаковское* было открыто в 1960-х годах в Кустанайской области (Казахстан). Рудные залежи здесь вытянуты на десятки километров вдоль палеорусел рек. Содержание Fe в рудах 30–35 % и P около 0,5 %.

*Метаморфогенные месторождения* имеют исключительно важное экономическое значение. На их долю приходится основная масса мировых запасов и около 60 % мировой добычи железных руд. По запасам это, как правило, уникальные и крупные месторождения. Они известны на Канадском, Бразильском, Индийском, Южно-Африканском, Балтийском и Украинском щитах, а также на Китайской и Австралийской платформах, Курско-Воронежском массиве и в других провинциях, сложенными докембрийскими образованиями.

К этой серии относятся: 1) залежи железистых кварцитов и 2) богатых железных руд в древних метаморфических формациях. Железистые кварциты присущи только докембрийским складчатым областям. Они представляют собой сравнительно бедные руды с содержанием железа 20–40 % (чаще 32–37 %) и характеризуются крайне низкими концентрациями *P и S.* Все крупнейшие месторождения железистых кварцитов с запасами руды в миллиарды и десятки миллиардов тонн относятся к нижнепротерозойским эвгеосинклинальным образованиям, претерпевшим метаморфизм фации зеленых сланцев. Главными минералами железистых кварцитов этой формации являются кварц, магнетит, гематит, куммингтонит, биотит, хлорит, реже сидерит, пироксены и щелочные амфиболы. Более глубоко измененные месторождения амфиболитовой фации метаморфизма представлены менее крупными (сотни миллионов тонн) месторождениями.

С толщами железистых кварцитов связаны залежи *богатых железных руд.* Они представляют собой продукт природного обогащения железистых кварцитов, образующихся в результате выщелачивания кварца и разложения силикатов при процессах древнего выветривания или метаморфизма. Существуют два основных морфологических типа залежей богатых руд – плащеобразные и линейные. Первые залегают на головах крутопадающих пластов железистых кварцитов, вторые – представляют собой уходящие на глубину, протяженные по простиранию и значительной мощности клинообразные рудные тела богатых железных руд среди железистых кварцитов. Минеральный состав богатых руд: мартит и мартитизированный магнетит, гематит, гётит, гидрогётит, глинистые минералы, вторичные карбонаты и пирит. Руды имеют высокое содержание Fe (54–69 %).

Крупнейшими железорудными бассейнами этого типа являются в СНГ: Курская магнитная аномалия (Лебединское, Михайловское, Коробковское, Салтыковское и др. месторождения), Криворожский железорудный бассейн, в дальнем зарубежье – железорудный пояс Лабродора (Канада), группа месторождений в районе озера Верхнего (США), в штате Минас Жерайс (Бразилия), в штатах Бихар и Орисса (Индия), бассейн Хамерсли (Западная Австралия) и т. д.

***Месторождения и рудопроявления в Беларуси.*** Железные руды выявлены в породах кристаллического фундамента и осадочном чехле (болотные руды, сидерит). В кристаллическом фундаменте известны 2 месторождения и 10 рудопроявлений. Наиболее крупным месторождением является *Околовское*, расположенное в Столбцовском районе Минской области. Железистые кварциты связаны со стратифицированными образованиями околовской серии (возраст около 2 млрд лет). Они находятся в тесной парагенетической ассоциации с вмещающими плагиогнейсами и амфиболитами. Залегание железистой толщи осложнено тектоническими нарушениями субширотного, субмеридионального и северо-западного простирания. На месторождении выявлены три горизонта железистых кварцитов мощностью от 20–80 до 125–259 м, имеющих пластообразную форму, моноклинальное залегание с падением на юго-восток под углом 60–80°. В горизонтах выделяется до 5–6 рудных пластов. Развиты два основных типа руд: силикатно-магнетитовые кварциты и магнетитовые амфиболиты. Главный рудный минерал–магнетит, изредка встречаются пирит, пирротин, халькопирит, ильменит, а в слабо развитой зоне окисления – мартит, гематит и лимонит. Среднее содержание железа в продуктивных пластах 27 %. Руды хорошо обогащаются. По данным предварительной разведки запасы железных руд категории С1 до глубины 700 м составляют 340 млн т.

*Новоселковское месторождение* ильменит-магнетитовых руд находится в Кореличском районе Гродненской области. Оно контролируется небольшой (1,5×0,5 км) интрузией габбро, испытавшей метаморфизм в условиях амфиболитовой фации. Месторождение разбито тектоническими нарушениями (типа сбросов) северо-западного простирания на три блока с амплитудой смещения около 100 м. При бортовом содержании *Feобщ*. 15 % в каждом из них выделяется от трех до пяти рудных тел пластообразной, линзообразной формы мощностью от 4 до 128 м, протяженностью по простиранию от 110 до 411 м и по падению – от 110 до 640 м. Главными рудными минералами являются магнетит (до 60 %) и ильменит (до 30 %), второстепенными – пирит и пирротин. Среднее содержание основных компонентов в рудах колеблется в пределах (%): *Feобщ.* 23,5–35,7; *TiO2* 4,2–6,0; *V2O5* 0,15–0,24*; P2O5* 0,48–0,51; *S* 0,8–1,04.

***Промышленные месторождения марганцевых руд представлены***:   
1) осадочными, 2) вулканогенно-осадочными, 3) выветривания и   
4) метаморфогенными типами.

*Осадочные месторождения* имеют большое экономическое значение. В них сосредоточено около 80 % всех мировых запасов марганцевых руд. Наиболее крупные месторождения сформировались в прибрежно-морских и лагунных олигоценовых бассейнах, сосредоточенных в основном в пределах Паратетиса. Это Никопольский бассейн на Украине, Чиатурское месторождение в Грузии, Мангышлакское в Казахстане, Оброчиште в Болгарии и др.

*Железомарганцевые конкреции дна океанов.* Впервые они были обнаружены на дне Тихого океана экспедицией на судне «Челенджер» 120 лет назад. Мощность железо-марганцевых корок на базальтах и туфобрекчиях изменяется от нескольких миллиметров до 10–15 см. Размеры конкреций от 1 мм до 1 м в диаметре, чаще всего встречаются конкреции 3–7 см в поперечнике. Морфологические типы конкреций – сферические, лепешковидные, эллипсоидальные, плитчатые, желвакообразные, гроздьевидные. Япония и США, не имеющие крупных месторождений марганца, осуществляют добычу железо-марганцевых конкреций со дна Тихого и Атлантического океанов на глубинах до 5 км.

*Вулканогенно-осадочные месторождения* приурочены к областям интенсивного проявления подводного вулканизма, характеризующимися накоплением лав и туфов с подчиненным количеством осадочных пород и руд. Для них характерна тесная связь с кремнистыми (яшмы, туфы), карбонатными (известняки, доломиты) и железистыми (магнетит-гематитовыми) породами и рудами. Руды формировались на ранней стадии геосинклинального этапа в эвгеосинклинальных условиях. Поступление *Fe, Mn, SiO2, Cu, Zn, Ba, Pb* и других компонентов осуществлялось поствулканическими подводными эксгаляциями и гидротермами. Вулканогенно-осадочные месторождения обычно характеризуются невысоким качеством руд и имеют небольшие масштабы. Рудные тела залегают в виде неправильных, быстро выклинивающихся пластов, линз, чечевиц. Они сложены преимущественно карбонатами марганца и железа. Месторождения этой группы отличаются брунит-гаусманитовым составом первичных руд и псиломелан-вернадитовыми рудами в корах выветривания. Мощность рудных тел обычно 1–10 м, содержание в них основных компонентов (%): *Mn* 40–55; *SiO*2 менее 10; *P* 0,03–0,06.

К этому типу принадлежат месторождения Атасуйского и Джездинского районов Центрального Казахстана, а в России месторождения Примагнитогорской группы, Ир-Нилийское в Приохотье, связанные со спилит-кератофир-кремнистой формацией, а также месторождения Салаирского кряжа, приуроченные к пофирово-кремнистой формации.

*Месторождения выветривания.* В результате проявления процессов выветривания в зоне гипергенеза происходит интенсивное разложение марганцевых руд и марганецсодержащих пород с переходом двухвалентного марганца в четырехвалентную форму. Таким образом, формируются богатые скопления в виде марганцевых шляп. Месторождения данного генетического типа распространены в основном в Индии, Бразилии, Канаде, Венесуэле, Габоне, ЮАР, Австралии, а также России. При окислении родохрозита, манганокальцита, родонита и манганита образуются рыхлые богатые оксидные руды, состоящие из пиролюзита, псиломелана и вернадита.

*Метаморфогенные месторождения* образуются главным образом при региональном, реже при контактовом метаморфизме осадочных руд и марганецсодержащих пород. В процессе интенсивного регионального метаморфизма первичные оксиды и карбонаты марганца в дальнейшем целиком переходят в силикаты марганца – родонит, бустамит, марганцовистые гранаты в тесном срастании друг с другом. Примерами месторождений подобного типа могут служить Карсакпайская и Атасуйская группы месторождений Казахстана, а также некоторые месторождения Индии и Бразилии. Среди метаморфогенных месторождений по степени метаморфизма различают две формации: *браунит-гаусманитовую* и *марганец-силикатную*.

*Месторождения браунит-гаусманитовой формации* образуются в результате относительно слабого прогрессивного метаморфизма первичных руд, сложенных гидрооксидами и оксидами марганца. К этой группе относятся многочисленные месторождения Индии, приуроченные к отложениям нижнего и среднего палеозоя. Это пласты и линзы оксидных марганцевых руд, залегающих согласно со слабо метаморфизированными вмещающими породами. Нередко рудные залежи вместе с вмещающими породами дислоцированы. Главные рудные минералы: браунит, голландит, реже биксбит и манганит. Наиболее важное значение имеют месторождения Панч-Махал, Барода, Уква, Кеопджари и Сингбхуме.

*Месторождения марганец-силикатной формации* распространены в Индии и Бразилии. В Индии они связаны исключительно с образованиями архея – гондитами и кодуритами. Гондиты сложены спессартином, кварцем и родонитом, кондуриты состоят из калиевого полевого шпата, марганецсодержащего граната и апатита. Наиболее крупные месторождения находятся в штатах Андхра-Прадеш (месторождения Кудур, Тарбхар), Мадхья-Прадеш (Рамрара, Стапатар) и Махараштра (Бузург, Донгри и др.). Гондиты и кодуриты в настоящее время не отрабатываются.

**9.2** **Хром, титан и ванадий**

1. Геохимия, минералогия и металлогения

2. Генетические типы промышленных месторождений

**1. Геохимия, минералогия и металлогения**

***Хром.*** Кларк хрома в земной коре 8,3·10-3 %. Среднее содержание его в различных изверженных породах колеблется от 0,2 % в ультраосновных (перидотитах) до 0,02 % в основных (базальтах), составляя в гранитах тысячные доли процента. Хром является типичным литофильным элементом.

Хром вместе с железом, титаном, никелем, ванадием и марганцем входит в одно геохимическое семейство. В природе известны четыре изотопа: *50Cr, 52Cr, 53Cr и 54Cr*, из которых наиболее распространен *52Cr.* Хром обладает двумя валентностями – *Cr3+ и Cr6+.* Соединения трехвалентного хрома наиболее устойчивы и широко распространены. Трехвалентный атом хрома, с одной стороны, образует оксиды, а с другой – в связи со сходством его ионов с ионами *Al, Mg, Fe2+ и Fe3+*, формирует комплексные соединения этих металлов, обособляющиеся на высокотемпературной магматической ступени эндогенного процесса при дифференциации базальтовой магмы. В экзогенных условиях хром, как и железо, мигрирует в виде взвесей. Наиболее подвижной формой в природе являются хроматы.

Известно около 25 минералов, содержащих хром. Промышленными являются хромшпинелиды («хромиты»), имеющие общую формулу *(Mg,Fe)O·(Cr,Al,Fe)2O3*. состав хромитов изменчив (%): *Cr2O3* 18–65; *MgO* до 16; FeO до 18; Fe2O3 до 30; Al2O3 до 33. Присутствуют также оксиды *Ti, Mn, V, Ni, Co* и др. Основное промышленное значение имеют *магнохромит (Mg,Fe)Cr2O4* (содержание *Cr2O3* 50–65 %), *хромпикотит (Mg,Fe)(Cr,Al)2O4* (*Cr2O3* 35–55 %) и *алюмохромит (Fe,Mg)(Cr,Al)2O4* (*Cr2O3* 35–50 %). Кроме того, хром входит в состав ряда других минералов – хромовой слюды (фуксита), хромвезувиана, хромдиопсида, хромового граната (уваровита), хромтурмалина, хромового хлорита и др. Эти минералы часто сопровождают руды, но не имеют самостоятельного промышленного значения.

В общем цикле геологического развития месторождения хромитов возникали на стадии геосинклинального этапа, а также на стадии активизации платформ. На ранней стадии геосинклинального этапа образовались магматические месторождения, среди которых наиболее характерны позднемагматические, связанные с массивами гипербазитов (дуниты, гарцбургиты). На стадии активизации платформ формировались массивы расслоенных пород габбро-норитовой формации, для которых типичны раннемагматические хромитовые месторождения.

Хромитоносные ультраосновные породы образуют несколько поясов:

1) субмеридиональный пояс герцинских и каледонских интрузий перидотитов и дунитов на Урале;

2) Средиземноморский пояс меловых и третичный интрузий гипербазитов, протягивающийся от Балкан через Турцию и далее в Индию;

3) пояс основных и ультраосновных пород, параллельный Восточно-Африканской рифтовой системе, прослеживающийся на территории ЮАР (Бушвельдский массив) и Зимбабве (Великая Дайка).

Хромитовые месторождения возникали в различные геологические эпохи, от раннего докембрия до третичного периода. *Докембрийская эпоха* – выдающаяся для образования месторождений хромитовых руд. Вэту эпоху сформировалось более 90 % общих запасов хромитов. Наиболее крупные месторождения сосредоточены на территории ЮАР, в основном в Трансваале. Здесь выделяются два хромитоносных пояса – Лиденбургский и Рюстенбургский. Многочисленные месторождения имеются в Зимбабве, где они приурочены к Великой Дайке. Менее крупные месторождения выявлены в Съерра-Леоне, Малагасийской Республике, США, Бразилии, Финляндии.

*Раннепалеозойская эпоха* была мало продуктивной для образования хромитовых руд. Промышленные месторождения этого возраста неизвестны. Небольшие месторождения, генетически связанные в раннекаледонскими ультраосновными интрузиями, выявлены в районе Тронхейма в Норвегии. Руды содержат в среднем 25–35 % оксида хрома.

*Позднепалеозойская эпоха* – вторая по значимости после докембрийской. В России месторождения хромитов этого возраста составляют основу сырьевой базы и играют решающую роль в запасах и добыче данного полезного ископаемого. Особый интерес представляют многочисленные месторождения хромитов, связанных с Кемпирсайским ультраосновным массивом Урала. В странах дальнего зарубежья проявления хромитоносности этого возраста встречаются редко и обычно в виде мелких скоплений, мало интересных в практическом отношении. Небольшие месторождения хромитов широко распространены на востоке Австралии, где они связаны с раннегерцинскими гипербазитами.

В *мезозойскую эпоху* промышленные месторождения хромитов сформировались в отдельных странах Америки и Южной Европы. На Кубе они располагаются в поясе позднемеловых серпентинизированных ультраосновных пород, представленных дунитами, пироксенитами и анортозитами. Залежи хромитов штокообразной, линзообразной и жильной формы приурочены преимущественно к дунитам. Химический состав руд изменяется в широких пределах: содержание *Cr2O3* 22–57 %, *Fe* 9,7–14,4 %. Преобладают низкосортные руды. Многочисленные относительно небольшие месторождения известны в США в штатах Калифорния и Орегон.

В пределах Южной Европы месторождения хромитов выявлены в Греции, Албании, Болгарии и Македонии. В Греции залежи хромитов обычно располагаются в серпентинитах в близи их контакта с известняками. Преобладают огнеупорные руды, в которых содержание *Cr2O3* составляет 37–42 %, *Fe2O3* 12 % и *Al2O3* 19–25 %.

В *кайнозойскую эпоху* промышленные залежи хромитов сформировались только в Азии и Океании. Многочисленные месторождения известны в ряде районов Средиземноморья. В Турции наиболее крупными по запасам и добыче являются месторождения группы Гулеман. Одно из ведущих мест в мире по добыче огнеупорных хромитов принадлежит Филиппинам. Многочисленные месторождения известны почти на всех островах, но наиболее крупные находятся на о. Лусон.

***Титан.*** Кларк титана в земной коре 0,45 %. Повышенные концентрации его отмечаются в основных (0,9 %) и средних (0,8 %) интрузивных породах. Известно пять изотопов титана: *46Ti–50Ti,* из которых наиболее распространен *48Ti.* В природных условиях титан четырехвалентен и встречается только в кислородных соединениях. Относясь к «семейству железа» титан в то же время характеризуется отчетливыми литофильными свойствами. Он проявляет тенденцию к рассеиванию в магнезиально-железистых силикатах, концентрируясь в габбро, горнблендитах и пироксенитах, а также в некоторых щелочных породах. В зоне гипергенеза минералы титана устойчивы и могут образовывать россыпи. В условиях выветривания и осаждения он имеет геохимическое сродство с *Al2O3* и концентрируется в бокситах кор выветривания, а также в морских глинистых осадках.

В настоящее время известно около 70 титановых минералов. Еще большее число минералов содержат титан в качестве примеси. Промышленное извлечение титана производят в основном из ильменита и рутила. *Ильменит FeTiO3* (содержание *Ti* 31,6 %). Обычно в нем наблюдается примесь *Mg и Mn,* кристаллизуется в тригональной сингонии, характерны таблитчатые кристаллы. Цвет минерала черный, блеск полуметаллический, твердость 5–6, удельная масса 4,7 г/см3. *Рутил TiO2* (*Ti* 60 %), содержит примесь *Fe, Ta, Nb, Sn* и др. Кристаллизуется в тетрагональной сингонии, кристаллы призматические, столбчатые, игольчатые. Цвет минерала желтый, красный, черный, черта светло-бурая, блеск алмазный и металловидный, твердость 6, удельная масса 4,3 г/см3. При комплексной переработке руд его извлекают из других титансодержащих минералов: *титаномагнетита* – *Fe3O4+FeTiO3,* *перовскита – CaTiO3, лопарита* – (*Na,Ce,Ca) (Nb,Ti)O3.* В небольших количествах титан получают также из лейкоксена и сфена.

Месторождения ***титана*** формировались главным образом на ранней стадии геосинклинального этапа в связи с отчетливо дифференцированными интрузиями пород габбро-пироксенит-дунитовой формации. Они залегают в форме лополитообразных или плитообразных тел, приуроченных к зонам глубинных разломов, развитым в областях сочленения древних платформ с протерозойскими и раннепалеозойскими складчатыми сооружениями. С зонами активизации древних платформ связано образование многофазных плутонов щелочного и ультраосновного состава с лопаритовым, перовскитовым и титаномагнетитовым оруденением. В процессе разрушения ильменит-рутил- и анатазсодержащих пород возникли латеральные, проалювиальные и аллювиальные россыпи.

Титановые месторождения формировались в различные эпохи – от докембрийской до кайнозойской включительно.

*Докембрийская эпоха* являлась наиболее благоприятной для образования крупных коренных месторождений титаномагнетитовых и ильменитовых руд. Они сосредоточены в пределах древних платформ или областей развития докембрийских образований, где пространственно связаны с ультрабазитами и базитами нормального ряда. Особенно широко распространены эти интрузивные комплексы на Африканском, Канадском и Балтийском щитах и Австралийской платформе. Крупнейшие месторождения находятся в ЮАР и приурочены к Бушвельдскому комплексу пород габбро-перидотитовой формации, абсолютный возраст которых определен   
1950 ± 100 млн лет. Такой же возраст имеет комплекс основных и ультраосновных пород Танзании, с которыми связаны также крупные месторождения титаномагнетита. В США в штате Нью-Йорк в Адирондакских горах расположено месторождение Тегавус, которое обеспечивает около 50 % добываемого в стране ильменита. Многочисленные месторождения титана докембрийского возраста выявлены в Канаде. Наиболее крупные из них – Аллард-Лейк, Лейк-Тио, Миллс, Пьюиджелон и другие, расположены в провинции Квебек. В России месторождения титаномагнетитовых руд известны в Карелии (Пудожгорское, Койкарское), в пределах габброидного пояса западного склона Южного Урала (Кусинское, Медведевское, Копанское и другие месторождения).

*Раннепалеозойская эпоха* была неблагоприятной для образования промышленных месторождений титана. Сравнительно небольшие месторождения известны на Урале, в Северной Европе и Южной Африке.

В *позднепалеозойскую эпоху* сформировалось весьма ограниченное количество промышленных месторождений. К ним относится Ярегское месторождение в Республике Коми. Источником производства титановых концентратов могут также стать апатит-нефелиновые руды Хибинского месторождения.

В *мезозойскую эпоху* промышленные месторождения титана практически не образовывались.

*Кайнозойская эпоха* ознаменовалась формированием крупных аллювиальных и прибрежно-морских россыпей титана. Они обычно содержат в значительных концентрациях ильменит, рутил, циркон, магнетит, титаномагнетит и лейкоксен, реже монацит и колумбит. Особенно широко россыпи распространены в Индии, Австралии, США и ЮАР. В Индии наиболее крупные россыпи сосредоточены на Траванкурском побережье в юго-западной части полуострова Индостан. Вдоль побережья россыпи («черные пески») прослеживаются в полосе протяжением 160 км, при средней ширине 150 м и мощности до 7,5 м. В Австралии разрабатываются прибрежные морские россыпи, протягивающиеся в виде полосы длиной более 1200 км от о. Фрезерс в штате Квинсленд до г. Сиднея (штат Новый Южный Уэльс).

***Ванадий.*** Кларк ванадия в земной коре 0,009 %. Повышенные содержания ванадия (0,02 %) отмечаются в основных породах – габбро и базальтах. В природе известно два стабильных изотопа ванадия: *50V и 51V.* Наиболее широко распространен изотоп *51V.* В магматических образованиях встречаются соединения только трехвалентного ванадия. Близость ионных радиусов V3+ и широко распространенных в магматических породах *Fe3+ и Ti4+* приводит к тому, что ванадий в гипогенных процессах целиком находится в рассеянном состоянии и не образует собственных минералов. Поэтому концентраторами его являются минералы, содержащие *Fe и Ti,* – титаномагнетит, рутил, сфен, ильменит, пироксены, амфиболт. В гидротермальных образованиях наблюдаются минералы трех-, четырех- и пятивалентного ванадия. Он склонен к образованию комплексных соединений с галоидами (*Cl, F*), что способствует переносу ванадия гидротермальными растворами.

По-иному ведет себя ванадий в экзогенном процессе. Он легко переносится в растворах и адсорбируется различными природными продуктами. Среднее содержание ванадия в речных водах 1·10-7 %, а в морской воде – 0,001–0,003 мг/л. Речными и морскими водами ванадий переносится в виде взвесей и истинных растворов (*VCl3, VCl4, VOCl, VOCl3*), а также адсорбируется гидрооксидами железа, алюминия и органическим веществом (ОВ). В зоне гипергенеза растворы, обогащенные ванадием, легко вступают в химические соединения с рядом компонентов и образуют ванадаты – соли ортованадиевой кислоты *H3VO4.*

В природных условиях известно около 70 минералов, содержащих ванадий. Больше половины из них ванадаты, остальные относятся к оксидам, сульфидам и силикатам. Только некоторые из них образуют промышленные концентрации: роскоэлит, карнотит, патронит, ванадинит, деклуазит.

*Роскоэлит KV2AlSi3O10(OH)2* (содержание *V2O5* 19–29 %). Минерал назван по фамилии минералога Г. Э. Роско. *Карнотит K2U2[VO4]2O4*×*3H2O* (содержание *V2O5* 20 %) (по фамилии французского горного инженера Карно), кристаллизуется в моноклинальной сингонии, ярко-желтого цвета, твердость 2–2,5, удельная масса 4,5 г/см3. *Патронит VS4* (содержание *V2O5* 29 %); *ванадинит Pb5(VO4)3Cl* (содержание *V2O5* 19 %) кристаллизуется в гексагональной сингонии, кристаллы коротко- и длиннопризматические до игольчатых и волосовидных, цвет оранжево-красный и бурый, твердость 2,5–3, удельная масса 7,1 г/см3; *деклуазит* *(Zn,Cu) Pb[VO4]OH* (содержание *V2O5* 20–23 %), (по фамилии Деклуазо), кристаллизуется в ромбической сингонии, габитус кристаллов изменчивый: дипирамидальный, призматический, реже таблитчатый или короткопризматический, цвет вишнево-красный, бурый до черного, блеск жирный, твердость 3–3,5, удельная масса 6,2 г/см3.

Ванадий в основном (70 %) извлекают титаномагнетитовых руд – титаномагнетита и магнетита. В *титаномагнетите* за счет присутствия мелких включений кульсонита *FeO*×*V2O3* содержание ванадия может достигать нескольких процентов. Повышенные концентрации ванадия   
(до 1–2 % *V2O5*) часто наблюдаются в эгирине, сфене, гранате, амфиболах и некоторых других минералах. Кроме того, источником ванадия могут служить: осадочные железные руды, зола некоторых углей и горючих сланцев.

В эндогенных условиях ***месторождения ванадия*** возникали на ранней стадии геосинклинального этапа в связи с интрузиями пород габбро-пироксенитовой формации. В этих формациях ванадий тесно связан с титаномагнетитовыми и ильменит-магнетитовыми рудами. Распределение ванадийсодержащих интрузивных массивов в докембрийских толщах подчиняется следующим закономерностям:

1) на щитах платформ северного полушария (Северо-Американской, Восточно-Европейской и Сибирской) распространены небольшие по размерам, но многочисленные массивы основных и ультраосновных пород, содержащие относительно небогатую ванадием титаномагнетитовую руду;

2) в Южном полушарии интрузивы гипербазитов не столь многочисленны, но среди них встречаются очень крупные (например, Бушвельдский массив);

3) главнейшие ванадиеносные интрузивные массивы, как правило, образуют рудоносные зоны, контролируемые глубинными разломами, и которые размещаются вдоль границ древних платформ и протерозойских геосинклиналей.

В экзогенных условиях ванадий концентрировался в осадочных толщах углеродисто-кремнистых черных сланцев, образовавшихся на геосинклинальном этапе, а также в осадочных рудах железа, бокситах, углях и зонах окисления месторождений уран-ванадиевого и полиметаллического состава.

*Докембрийская эпоха –* наиболее благоприятная для образования эндогенных месторождений ванадия. В это время сформировались крупнейшие в мире месторождения, связанные с Бушвельдским комплексом. В титаномагнетитовых рудах содержание *V2O5* составляет 0,4–2,5 %. Наиболее крупное месторождение Магнет Хейтс. На базе руд Бушвельдского комплекса созданы заводы по производству ванадиевых шлаков годовой производительностью 20 тыс. т в пересчете на *V2O5*. В Финляндии разведано несколько коренных месторождений (Отанмяки, Вуолийоки и др.), в рудах которых среднее содержание *V2O5* достигает 2,4 %. В России месторождения ванадийсодержащие титаномагнетитовые руды известны в Карелии и на Южном Урале.

В *раннепалеозойскую эпоху* промышленные эндогенные месторождения ванадия практически не образовывались. В это время возникли экзогенные месторождения ванадия, связанные с углеродисто-кремнистыми сланцами.

*Позднепалеозойская эпоха* в целом являлась малопродуктивной для ванадия. В это время образовывались сравнительно небольшие месторождения, связанные в основном с углями и углеродисто-кремнистыми сланцами.

*Мезозойская и кайнозойская эпохи* рудообразования являлись глобальными для формирования морских и континентальных оолитовых железных руд, являющихся концентраторами ванадия. Наиболее крупные месторождения этого типа образовались в Западной Европе (Лотарингский бассейн) и на территории СНГ (Керченский железорудный бассейн).

**2. Генетические типы промышленных месторождений**

***Промышленные месторождения хрома представлены двумя главными типами:*** 1) собственно магматическими и 2) россыпями.

*Собственно магматические месторождения* подразделяются на *раннемагматические и позднемагматические* (гистеромагматические).

*Раннемагматические месторождения* хрома связаны с базальтоидами или гарцбургит-ортопироксенит-норитовой формацией. Они представлены выдержанными по мощности пластообразными залежами у основания стратифицированных интрузивных массивов. Размеры последних колеблются от нескольких десятков до нескольких тысяч квадратных километров. Оруденение характеризуется правильной расслоенностью с постепенными переходами от перидотитов внизу массивов до габброидов и гранитоидов вверху их. Содержание Cr2O3 в рудах сравнительно высокое – 38–50%. Раннемагматические месторождения широко развиты в ЮАР (Бушвельдский массив) и Зимбабве (Великая Дайка).

*Позднемагматические месторождения* образовывались в конце собственно магматического процесса и характеризуются приуроченностью к гипербазитам. Рудные тела имеют форму жило- и линзообразных тел с резкими границами и причудливыми очертаниями. Иногда они пересекаются дайками габбро и дунитов. Руды, как правило, массивные. В их составе присутствуют хромгранат, хромхлорит и хромтурмалин. Процесс формирования этих месторождений сопровождался тектоническими деформациями, в результате чего происходило отжатие хромсодержащих расплавов в тектонические трещины, смятие пород и руд. Содержание *Cr2O3* варьирует от 15 до 65 %, чаще составляет 50–55 %, отношение *Cr2O3:FeO* – от 2 до 4.

Месторождения данного подтипа выявлены в России, Армении, Турции, Иране, Индии, Албании, Судане и на Кубе. В России наиболее крупные месторождения сосредоточены в юго-восточной части Кемпирсайского массива на Южном Урале.

*Россыпные месторождения* не играют существенной роли в мировых запасах (5 %) и добыче (1 %) хромитового сырья. Они образуются вследствие выветривания коренных магматических месторождений. К ним относятся элювиально-делювиальные, а также прибрежно-морские россыпи. *Элювиально-делювиальные* образования (месторождения типа кор латеритного выветривания) представлены рассеянными кристаллами и обломками хромита среди рыхлой лимонитовой массы. Руды легко обогащаются в процессе промывки. Подобные месторождения известны в России (Сарановское на Урале), на Кубе (Камагуэй), в Новой Каледонии.

***Среди промышленных месторождений титана выделяются***:   
1) магматические, 2) россыпные, 3) выветривания, 4) осадочно-вулканоген-ные, 5) метаморфогенные.

*Магматические месторождения* по составу материнских пород делятся на два класса: 1) связанные с основными и ультраосновными массивами и 2) с комплексами щелочных пород. Крупные месторождения титаномагнетитовых руд широко распространены в пределах Южно-Африканского, Канадского, Балтийского и Индостанского щитов. Типичными являются месторождения, залегающие в норитах Бушвельдского комплекса. Здесь пластообразные рудные тела мощностью 0,3–0,6 м прослеживаются по простиранию на многие километры. Они содержат 51–60 % *Fe* и 12–20 % *Ti*. В России типичным титаномагнетитовым месторождением, связанным с габбро, является Кусинское, а приуроченное к пироксенитам среди габбро – Качканарское.

*Россыпные месторождения.* Среди них различают два класса: прибрежно-морские и континентальные. Главное значение имеют *прибрежно-морские* ильменит-рутил-цирконовые россыпи. Из *современных прибрежно-морских россыпей* рутил и ильменит добывают в Австралии, Индии, Шри-Ланка, Сьерра-Леоне, Бразилии и США. Наиболее интересны в промышленном отношении пляжевые россыпи Австралии в центральной части восточного побережья, где они с перерывами прослеживаются более чем на 75 км. Ширина их достигает 800 м, мощность продуктивного пласта –   
1,8 м. Содержание рутила 18–20 кг/м3, ильменита 15–16 кг/м3.

*Древние прибрежно-морские россыпи* представлены слабо сцементированными или уплотненными рудными песками мезо-кайнозойского возраста. Типичным представителем являются *Средне-Днепровские месторождения* циркон-рутил-ильменитовых песков Украины. Они образовались за счет размыва мощной мезозойской коры выветривания метаморфических пород Украинского кристаллического щита, последующей сортировки и переотложения продуктов выветривания на бортах Днепровско-Донецкой и Причерноморской впадин в третичный период.

*Континентальные россыпи* распространены преимущественно в аллювии, элювии и пролювии четвертичных, палеогеновых и нижнемеловых отложений. Рудные тела аллювиальных россыпей, как правило, имеют форму лентовидных залежей, приуроченных к долинам рек. По минеральному составу континентальные россыпи обычно полимиктовые (ильменит, кварц, полевой шпат, каолинит и др.). Размеры зерен ильменита 0,1–0,25 мм и более. Окатанность их слабая. Содержание ильменита в промышленных континентальных россыпях варьирует от 20–30 до 200–500 кг/м3.

*Месторождения выветривания.* Эти месторождения возникают в условиях жаркого и влажного климата при выветривании габбро-анортозитовых и метаморфических пород, содержащих повышенные концентрации ильменита и рутила. При этом зерна рудных минералов сохраняют первичную форму кристаллов (они не окатаны). Мощность кор выветривания достигает нескольких десятков метров. Типичным примером может служить *Стремигородское месторождение,* образовавшееся при выветривании габбро-анортозитового массива на Волыни (Украина). Кора выветривания здесь обогащена только ильменитом, содержание которого достигает 300–500 кг/м3. На *Кундыбаевском месторождении в Казахстане*, образовавшемся в процессе выветривания метаморфических пород, в коре выветривания содержится до 180 кг/м3 ильменита и до 75 кг/м3 рутила.

*Осадочно-вулканогенные месторождения.* Они тесно связаны с титаноносными вулканогенно-осадочными образованиями и встречаются сравнительно редко. Наиболее типичным представителем является месторождение *Нижний Мамон*, расположенное в Воронежской области.

*Метаморфогенные месторождения.* Среди них различают метаморфизованные и метаморфические месторождения титана.

*Метаморфизованные месторождения* возникли в результате метаморфизма продуктивных песков и превращения их в песчаники и кварциты. Они известны в пестроцветных лейкоксен-кварцевых песчаниках девонских отложений Тимана. Здесь наиболее крупным является *Ярегское месторождение,* представляющие собой погребенную метаморфизованную девонскую россыпь. Развиты два рудоносных горизонта: нижний сложен грубо- и крупнозернистыми кварцевыми песчаниками с прослоями алевролитов и аргиллитов, верхний – полимиктовыми конгломератами и разнозернистыми кварцевыми песками. Рудные минералы представлены полуокатанными зернами лейкоксена и единичными зернами ильменита. Из зарубежных метаморфизованных месторождений наиболее известно *Робинзон Коп* в США (штат Виргиния). Здесь среди песчаников кембрия встречаются линзообразные тела, обогащенные рутилом и ильменитом, составляющими в сумме до 50 % объема этих тел.

*Метаморфические месторождения* титана приурочены к древним кристаллическим сланцам, гнейсам, эклогитам и амфиболитам. Образуются они в результате метаморфизма различных пород, обогащенных титаном. К этому классу относятся: месторождение Харворд (США), где продуктивными являются докембрийские хлоритовые сланцы, содержащие до 20 % рутила; месторождение Плюмо-Идальго в Мексике (докембрийские гнейсы с содержанием рутила до 25 %); месторождения Среднего Урала (Кузнечихинское), Кольского полуострова и др.

***Месторождения и рудопроявления в Беларуси*.** В Беларуси в 1966 г. открыто сравнительно небольшое по запасам *Новоселковское месторождение* ильменит-магнетитовых руд, связанное с интрузией габбро. В рудах содержание *TiO2* составляет 4,2–6,0 %. По данным института «Гипприрода» (Санкт-Петербург) с железными рудами месторождения связано 4,06 млн т *TiO2.*

Известно пять рудопроявлений титана и циркония, приуроченных к кварц-глауконитовым пескам палеогена: Микашевичское, Житковичское, Кобринское, Ковыжевское и Глушкевичское. *Микашевичское проявление* тяготеет к Микашевичско-Житковичскому выступу пород кристаллического фундамента. Зона ископаемых россыпей шириной 4–5 км простирается в субширотном направлении на 23 км. Продуктивные песчаные горизонты киевской свиты залегают в интервале глубин 45–53 м. Средние и максимальные содержания составляют соответственно (кг/м3): ильменита 7,08 и 8,46, циркона – 2,11 и 2,48.

***К промышленным месторождениям ванадия принадлежат***:   
1) магматические, 2) выветривания, 3) россыпные, 4) осадочные,   
5) метаморфогенные.

*Магматические месторождения.* В месторождениях этого типа сосредоточены основные запасы промышленных ванадийсодержащих руд. Они пространственно связаны с основными и ультраосновными изверженными породами. Площади наиболее крупных массивов достигают нескольких сотен квадратных километров, а изредка до тысяч квадратных километров. Среднее содержание ванадия в рудах невысокое – 0,1–1 %. Однако запасы ванадийсодержащих руд на некоторых месторождениях достигают нескольких миллионов тонн. Наиболее высокие концентрации ванадия наблюдаются в рудных минералах в породах ультраосновного состава. Важнейшие провинции эндогенных месторождений ванадия в России: 1) восточного склона Урала (Гусевогорское, Качканарское, Первоуральское и др. месторождения), 2) западного склона Урала (Кусинское, Медведевское, Маткальское, Копанское), 3) Карело-Кольская (Пудожгорское, Елеть Озеро и др.), 4) Кузнецко-Саянская (Лысаковское, Кедранское и др.), 5) Восточно-Забайкальская (Кручининское и др.), 6) Сибирская трапповая (Камышевский Байкитик и др.). Наиболее значительные магматические месторождения ванадия дальнего зарубежья: Бушвельд (ЮАР), Миллз, Лак-Тио, Пьиджелон (Канада), Тегавус (США), Баррамби (Австралия), Родсенд, Сельвог (Норвегия), Таберг (Швеция).

*Месторождения выветривания* формируются в зонах окисления полиметаллических руд. Они, как правило, небольшие по запасам. Ванадий концентрируется только в окисленных рудах (содержание его достигает   
5,5 %). Рудные тела имеют трубообразную форму, верхняя часть их сложена окисленными рудами, содержащими церуссит, смитсонит, малахит, англезит, азурит и минералы ванадия – деклуазит, купродеклуазит и ванадит. Глубина зон окисления руд обычно не превышает нескольких сот метров. Месторождения этого типа широко распространены в Африке (Брокен-Хилл в Замбии, Тсумеб, Берг-Аунас, Абенаб в Намибии), встречаются также в Австралии, США, Аргентине, Мексике и России.

*Россыпные месторождения* известны в Австралии, Новой Зеландии, Индии, России и других странах. По генезису – это прибрежно-морские россыпи ванадийсодержащих титаномагнетитовых песков. Содержание *V2O5* в них невысокое – около 0,7 %. Крупные россыпи ванадийсодержащих песков известны на побережье Новой Зеландии (запасы около 800 тыс. т).

*Осадочные месторождения.* Значительные количества ванадия концентрируются в осадочных месторождениях железа, бокситов, а также в сланцах, углях и нефтях. В *оолитовых бурых железняках* (Лотарингский, Керченский бассейны и др.) содержится 0,05–0,1 % *V2O5,* который извлекается. Повышенные содержания ванадия установлены в *бокситах* Италии, в *углях* многих месторождений (в золе содержание *V2O5*достигает десятых долей процента).

*Месторождения ванадиеносных сланцев* представлены чередованием пачек углисто-глинистых и кремнистых сланцев суммарной мощностью в десятки метров, при мощности отдельных пачек 0,5–2,0 м. Ванадий концентрируется главным образом в углистых прослоях, где содержание его достигает 1–2 %, в то время как в кремнистых прослоях снижается до   
0,2–0,3 %. Состав таких руд очень сложный: углистое вещество с участием карбонатов и ванадатов (ванадит, узбекит, фольбортит), фосфаты, барит, роскоэлит и др.

*Карнотитовые* и *роскоэлитовые месторождения* в пестроцветных отложениях (алевролиты, песчаники, гравелиты, конгломераты) осадочного чехла (тип «плато Колорадо») распространены во многих странах, но наибольшее значение имеют в США, где в них наблюдаются повышенные концентрации ванадия (до 1,7 %), урана (0,18– 0,34 % U3O8) и меди (около   
0,5 %).

Повышенной ванадиеносностью характеризуются *высокосернистые нефти* Урало-Волжской провинции, Венесуэлы, Ирана и некоторых других нефтегазоносных областей.

*Метаморфогенные месторождения.* Месторождения этого типа немногочисленны. Они известны в Финляндии, Норвегии и США. В Финляндии – это месторождение *Отанмяки*. Здесь в амфиболитах, залегающих в гранито-гнейсах, развиты две зоны линзовидных рудных тел, сложенных ильменит-магнетитовыми рудами со средним содержанием ванадия 0,62 %. На месторождении попутно ежегодно извлекают   
1,3–1,5 тыс. т ванадия.

***Месторождения и рудопроявления в Беларуси.*** В ильменит-магнетитовых рудах Новоселковского месторождения среднее содержание *V2O5* составляет 0,15–0,24 %. Подсчитанные по категории C2 запасы ванадия (в пересчете на *V2O5*) оценены в 164,2 тыс. т.

**Раздел 10 Легкие металлы**

**10.1** **Алюминий и магний**

1. Геохимия, минералогия и металлогения

2. Генетические типы промышленных месторождений

**1. Геохимия, минералогия и металлогения**

***Алюминий*** относится к числу элементов, наиболее распространенных в земной коре. Его кларк равен 8,05 %. В природных условиях он представлен только одним изотопом *27Al.*

В эндогенных условиях алюминий концентрируется преимущественно в щелочных нефелин- и лейцитсодержащих породах, а также в некоторых разновидностях основных пород (анортозитах и др.). Значительные массы алюминия накапливаются в связи с процессами алунитизации, связанными с гидротермальной переработкой кислых вулканогенных образований. Наибольшие скопления алюминия наблюдаются в остаточных и переотложенных корах выветривания кислых, щелочных и основных пород.

В осадочном процессе глинозем растворяется и переносится только в кислых (pH < 4) или сильно щелочных (pH > 9,5) растворах. Осаждение гидрооксидов алюминия начинается при pH = 4,1. В присутствии *SiO2* растворимость *Al2O3 в*озрастает, а при наличии *CO2* снижается. Коллоидный *Al2O3* по сравнению с коллоидным *SiO2* менее устойчив и быстрее коагулирует. Поэтому в процессе их совместной миграции происходит разделение этих элементов. В связи с различной геохимической подвижностью соединений алюминия, железа и марганца происходит их дифференциация в прибрежной зоне седиментационных бассейнов. Ближе к берегу накапливаются бокситы, в верхней части шельфа – железные руды, а внизу шельфа – марганцевые руды. Гидрооксиды алюминия обладают значительной адсорбционной способностью. В минералах, слагающих бокситы, постоянно в переменных количествах присутствуют *Fe, V, Cr, Zn, Mn, Cu, Sn, Ti, B, Mg, Zr, P и др.*

Алюминий входит в состав около 250 минералов. Однако промышленное значение имеют лишь некоторые из них: диаспор и бёмит, гиббсит (гидраргиллит), нефелин, лейцит, алунит, андалузит, кианит, силлиманит и др.

*Диаспор HAlO2* (содержание *Al2O3* 85 %) кристаллизуется в ромбической сингонии, габитус кристаллов пластинчатый, таблитчатый, игольчатый, агрегаты листоватые, скрытокристаллические, сталактитообразные. Цвет минерала белый, сероватый, с примесью *Mn* или *Fe* – серый, розовый, коричневый, блеск стеклянный до алмазного, твердость 6,5–7, удельная масса 3,36 г/см3.

*Бёмит AlOOH* – полиморфная модификация диаспора (по фамилии Бём), кристаллы пластинчатые, агрегаты скрытокристаллические, бобообразные, цвет белый, твердость 3,5–4, удельная масса ~ 3 г/см3. Образуется при гидротермальном изменении нефелина.

*Гиббсит (гидраргиллит) Al(OH)3* (*Al2O*3 64,7 %) кристаллизуется в моноклинальной, реже в триклинной сингонии, кристаллы псевдогексагональные, пластинчатые и столбчатые, агрегаты фарфоровидные, землистые, натечные, червеобразные, сфероидальные конкреции, твердость 2,5–3, удельная масса 2,4 г/см3.

*Нефелин Na[AlSiO4]* (*Al2O3* 34 %) кристаллизуется в гексагональной сингонии, кристаллы призматические, короткостолбчатые, толстотаблитчатые, бесцветный, серый, мясо-красный, блеск от стеклянного до жирного, твердость 5,5–6, удельная масса 2,6 г/см3.

*Лейцит K[AlSi2O6]* (*Al2O3* 23,5 %) – каркасный силикат, изоструктурный с анальцимом; кристаллы – тетрагонтриоктаэдры, додекаэдры. Цвет минерала белый, серый, твердость 5,5–6, удельная масса 2,5 г/см3.

*Алунит KAl3(OH)6[SO4]2* (*Al2O3* 37 %) кристаллизуется в тригональной сингонии, кристаллы таблитчатые, ромбоэдрические или чечевицеобразные, агрегаты плотные и зернистые. Цвет минерала белый, сероватый, желтоватый, бурый, блеск стеклянный до перламутрового, твердость 3,5–4, удельная масса 2,9 г/см3. Встречается в коре выветривания, где обильна *H2SO4.*

*Андалузит Al2O[SiO4]* (по провинции Андалузия, Испания) – одна из трех полиморфных модификаций силиката алюминия (андалузит, кианит и силлиманит), образующаяся при наименьших давлении и температуре. Алюминий незначительно замещается Fe и Mn. Кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы столбчатые, волокнистые, агрегаты зернистые и лучисто-шестоватые, цвет розовый, блеск стеклянный, твердость 6,5–7, удельная масса 3,1 г/см3.

Важнейшими рудами алюминия являются бокситы – горная порода, состоящая из гидрооксидов алюминия, оксидов и гидрооксидов железа и марганца, кварца, опала, алюмосиликатов и др. По минеральному составу различают бокситы диаспоровые, бёмитовые, гиббситовые, а также комплексные, состоящие из двух или трех перечисленных минералов. Аморфный глинозем, входящий в состав промышленных минералов алюминия, со временем испытывает старение, в результате чего он преобразуется в бёмит, а последний переходит в гиббсит.

Алюминий благодаря своей легкости (плотность 2,7 г/см3), высокой электропроводности, большой коррозионной устойчивости и достаточной механической прочности (особенно в сплавах с *Cu, Mg, Si, Mn, Ni, Zn* и др.) нашел широкое использование в различных отраслях промышленности. Основными областями применения алюминия и его сплавов являются: автомобиле-, судо-, самолето- и машиностроение; строительство (несущие конструкции); производство упаковочных материалов (контейнеры, фольга); электротехника (провода, кабель); производство предметов быта; оборонная промышленность.

Основным сырьем мировой алюминиевой промышленности являются бокситы. К собственно бокситам относятся глиноземистые породы, содержащие не менее 28 % *Al2O3.* Алюминий получают также из нефелиновых и алунитовых руд. Разработан электротехнический способ получения алюминия из силлиманитовых, андалузитовых, кианитовых кристаллических сланцев и гнейсов и других небокситовых источников глинозема. Бокситы, как правило, образуют площадные залежи, выходящие на поверхность либо лишь незначительно перекрытые, вследствие чего их обнаружение и установление промышленных характеристик месторождений представляет собой сравнительно несложную задачу.

***Металлогения и эпохи рудообразования*.** Наиболее благоприятные условия для образования бокситовых месторождений возникали на ранней стадии геосинклинального этапа, когда формировались геосинклинальные месторождения глиноземного минерального сырья, а также на платформенном этапе, когда появились латеритные и осадочные месторождения.

Месторождения бокситов докембрийского возраста неизвестны. Однако в докембрийскую эпоху в различных регионах мира сформировались небокситовые источники глиноземного сырья – силлиманитовые, андалузитовые и кианитовые кристаллические сланцы и гнейсы.

*Раннепалеозойская эпоха* также была неблагоприятной для образования месторождений бокситов. Наиболее значительное месторождение этого возраста (Боксонское) известно в Восточной Сибири. Оно приурочено к доломитовой свите рифей-раннекембрийского возраста. Пласт бокситов простирается на десятки километров, залегает на неровной карманообразной поверхности доломитов и перекрывается сланцами, песчаниками и доломитами. Около половины всего глинозема, заключенного в бокситах, находится в форме моногидратов – диаспора и бёмита. По мнению   
Е.П. Бессолицына, эти бокситы образовались в раннем кембрии в окраинной зоне геосинклинали, окаймлявшей Сибирскую платформу.

В *позднепалеозойскую эпоху* месторождения бокситов формировались преимущественно в Северном полушарии. В девоне образовались месторождения геосинклинального типа Урала и Салаира, в карбоне – бокситы на Восточно-Европейской, Китайской и Северо-Американской платформах. Преобладают бокситы морского генезиса, которые, по-видимому, сформировались за счет перемыва и переотложения продуктов кор выветривания. В России наиболее крупные месторождения залегают среди известняков, в Китае и США – приурочены к угленосным отложениям и ассоциируют с плотными маложелезистыми каолиновыми породами. Разрабатываются преимущественно бокситы, в которых содержание *Al2O3* превышает 50 %.

*Мезозойская эпоха* была благоприятной для формирования промышленных месторождений в Южной Европе, в пределах Средиземноморской геосинклинали. Здесь они образуют два протяженных пояса. Один из них простирается от северо-восточных районов Испании, через южные части Франции и Италии до восточного берега Адриатического моря и далее через Грецию и Эгейские острова в Турцию. Другой пояс расположен севернее и включает месторождения бокситов Австрии, Венгрии и Румынии. В Европе все мезозойские месторождения бокситов ассоциируют с известняками и доломитами. Иногда они окаймлены и отделены от известняков красноватым землистым материалом, известным под названием терра росса (*terra rossa*).

Бокситовые залежи диаспорового типа известны в Индии в Западных Гималях. Бокситы мезозойского возраста имеются также в Казахстане, где выделяется Северо-Казахстанская бокситовая провинция.

*Кайнозойская эпоха* – выдающаяся для бокситообразования (более 90 % всех мировых ресурсов). Крупнейшие месторождения третичных бокситов сосредоточены в странах Западной Африки, Австралии, Южной Америки и Карибского бассейна. Значительные месторождения известны также в Азии.

В странах Карибского бассейна – Ямайке, Гаити и Доминиканской Республике – бокситы являются переотложенными латеритами. Они залегают на эродированной поверхности эоценовых и олигоценовых известняков и перекрываются осадочными породами. Наиболее крупными месторождениями этого типа располагает Ямайка, занимающая одно из ведущих мест в мире по добыче бокситов. Залежи распространены на огромной площади. Так, в мульде Вильямсфильд залежь бокситов прослежена на протяжении 32 км при средней мощности ее 7,5 м. Бокситы состоят в основном из гиббсита с подчиненным количеством бёмита.

В Южной Америке месторождения бокситов расположены в северной и восточной частях материка, где они приурочены к окраинам Бразильского плато. Бокситоносная полоса начинается в Венесуэле и прослеживается через Гайану, Суринам и Гвиану в плоть до северо-восточной части Бразилии. В Африке крупные месторождения бокситов выявлены в Гане, Камеруне, Сьерра-Леоне, Мали, Анголе и других странах. Все месторождения образовались в результате латеритного выветривания различных магматических пород (сиенитов, габбро и др.), а также сланцев и аргиллитов. В Индии важнейшие месторождения бокситов расположены в штатах Мадхья-Прадеш, Бихар, Мадрас и Бомбей, где они связаны преимущественно с корой выветривания декканских траппов и их туфов.

***Магний.*** [Кларк](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B0%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE) магния – 1,95 % (19,5 кг/т). Это один из самых распространённых элементов [земной коры](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B0). Большие количества магния находятся в [морской воде](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B0) в виде раствора солей. Основные минералы с высоким массовым содержание магния:

* [морская вода](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B0) – (0,12–0,13 %),
* [карналлит](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B8%D1%82) – MgCl2 × [KCl](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%BB%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B4_%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D1%8F) × 6H2O (8,7 %),
* [бишофит](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B8%D1%88%D0%BE%D1%84%D0%B8%D1%82) – [MgCl2](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%BB%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B4_%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%8F) × 6H2O (11,9 %),
* [кизерит](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B8%D0%B7%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%82) – MgSO4 × H2O (17,6 %),
* [эпсомит](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BF%D1%81%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%82) – MgSO4 × 7H2O (9,9 %),
* [каинит](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%82) – [KCl](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%BB%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B4_%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D1%8F) × [MgSO4](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%84%D0%B0%D1%82_%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%8F) × 3H2O (9,8 %),
* [магнезит](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D1%82) – [MgCO3](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%B1%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D1%82_%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%8F) (28,7 %),
* [доломит](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%82) – [CaCO3](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%B1%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D1%82_%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%86%D0%B8%D1%8F)·[MgCO3](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%B1%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D1%82_%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%8F) (13,1 %),
* [брусит](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%80%D1%83%D1%81%D0%B8%D1%82) – [Mg(OH)2](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%B4_%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%8F) (41,6 %).

Магнезиальные соли встречаются в больших количествах в солевых отложениях [самосадочных озёр](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B0%D0%BC%D0%BE%D1%81%D0%B0%D0%B4%D0%BE%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BE%D0%B7%D1%91%D1%80%D0%B0). Месторождения карналлита осадочного происхождения имеются во многих странах.

Магнезит образуется преимущественно в гидротермальных условиях и относящихся к среднетемпературным [гидротермальным месторождениям](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BC%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B6%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F). Доломит также является важным магниевым сырьём. Месторождения доломита широко распространены, запасы их огромны. Они генетически связаны с карбонатными [осадочными слоями](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%81%D0%B0%D0%B4%D0%BE%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BF%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%8B) и большинство из них имеет [докембрийский](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B5%D0%BC%D0%B1%D1%80%D0%B8%D0%B9) или [пермский](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%BC%D1%8C) геологический возраст. Доломитовые залежи образуются осадочным путём, но могут возникать также при воздействии на [известняки](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%B7%D0%B2%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D1%8F%D0%BA) [гидротермальных растворов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8), подземных или поверхностных вод.

*Магний* – металл серебристо-белого цвета с гексагональной решёткой, обладает металлическим блеском. При обычных условиях поверхность магния покрыта довольно прочной защитной плёнкой оксида магния *MgO*, которая разрушается при нагреве на воздухе до примерно 600 °C, после чего металл сгорает с ослепительно белым пламенем с образованием оксида и нитрида магния *Mg3N2.* Скорость воспламенения магния намного выше скорости одёргивания руки, поэтому при поджоге магния человек не успевает одёрнуть руку и получает ожог. На горящий магний желательно смотреть только через темные очки или стекло, так как в противном случае есть риск получить световой ожог сетчатки и на время ослепнуть.

Плотность магния при 20 °C – 1,738 г/см³, температура плавления   
650 °C, температура кипения 1090 °C, теплопроводность при 20 °C –   
156 Вт/(м×К). Магний высокой чистоты пластичен, хорошо прессуется, прокатывается и поддаётся обработке резанием.

Металлический магний применяется для восстановления титана до металла из тетрахлорида титана.

Используется магний для получения лёгких и сверхлёгких литейных сплавов (самолётостроение, производство автомобилей), а также в пиротехнике и военном деле для изготовления осветительных и зажигательных ракет. Со второй половины ХХ века магний в чистом виде и в составе сплава кремния с железом – ферросиликомагния, стал широко применяться в чугунолитейном производстве.

**2. Генетические типы промышленных месторождений**

Все известные ***месторождения бокситов*** относятся к экзогенным образованиям. Они разделяются на *месторождения выветривания и осадочные*.

*Месторождения выветривания*. Среди них выделяются *остаточные* и *переотложенные*. *Остаточные латеритные месторождения* образуются при выветривании горных пород, протекавшем в особых условиях. Благоприятными факторами бокситообразования являются: 1) наличие пород с относительно легко растворимыми породообразующими минералами, нерастворимый остаток которых богат глиноземом; 2) тропический или жаркий климат; 3) высокая пористость или нарушенность пород; 4) равнинный или слабохолмистый рельеф поверхности; 5) длительные периоды покоя в развитии конкретных регионов Земли; 6) наличие растительного и бактериального мира.

Бокситовые остаточные месторождения возникают за счет выветривания и разложения щелочных (нефелиновые сиениты), осадочных (глины), изверженных (габбро, диабаз, базальт) и метаморфических пород. Наиболее благоприятными материнскими породами для формирования остаточных месторождений служат алюмосиликатные породы, содержащие не менее 15–20 % глинозема, мало железа и не более 15 % крупнозернистого кварца. Форма бокситовых месторождений – плащеобразные покровы, образовавшиеся на месте (*in situ*) за счет подстилающих материнских высокоглиноземистых пород.

Бокситовые остаточные месторождения имеют большое экономическое значение во многих странах дальнего зарубежья. На их долю приходится более половины всех мировых запасов бокситовых руд. Крупные месторождения остаточных бокситов известны в Африке, Латинской Америке, странах Карибского бассейна, Австралии, Индии. В России они выявлены в Белгородском бокситоносном районе КМА (Висловское, Беленихинское месторождения) и на Среднем Тимане (Вежаю-Ворыквинское месторождение).

Остаточные месторождения широко распространены в Гвинее, которая по запасам высококачественных бокситов занимает первое место в мире. Здесь наиболее крупным является месторождение Боке.

*Переотложенные месторождения* образовались в результате частичного размыва и переотложения бокситов среди песчано-глинистых отложений. К этому типу относятся месторождения в штате Арканзас (США), отдельные месторождения Австралии, Гвианы, Гайаны, Суринама. В пределах СНГ они пока не выявлены.

*Осадочные месторождения* по условиям образования и составу разделяются на *платформенные* и *геосинклинальные*.

*Платформенные бокситовые месторождения* связаны с континентальными отложениями преимущественно озерно-болотной фации. Они обычно приурочены к периферическим частям обширных платформенных синеклиз, впадинам в пределах отдельных платформенных выступов, эрозионно-тектоническим котловинам (в зонах сочленения платформ со складчатым обрамлением). К платформенному типу относятся также бокситовые месторождения, пространственно связанные с платформенными угленосными формациями. Месторождения платформенного типа обычно характеризуются почти горизонтальным залеганием и пластово-линзообразной формой рудных тел. В составе бокситовых руд преобладает гиббсит (гидраргиллит). Платформенные бокситовые месторождения широко распространены в России в пределах Восточно-Европейской платформы (Тихвинский, Средне-Тиманский, Южно-Тиманский, Северо-Онежский бокситовые районы), в Енисейском кряже (Чадобецкая, Татарская и Приангарская группы месторождений), в Казахстане (Тургайский прогиб).

Примером подобных месторождений является *Тихвинский бокситоносный район*. Он расположен в Ленинградской области (центр г. Бокситогорск) и приурочен к полосе нижнекаменноугольных отложений северо-западного крыла Московской синеклизы.

*Геосинклинальные бокситовые месторождения*. Пространственно они связаны с карбонатными и карбонатно-сланцевыми формациями, развитыми в окраинных частях геосинклинальных прогибов в зонах их примыкания к консолидированным участкам земной коры, а также встречаются в срединных частях геосинклиналей. Бокситы залегают на неровной поверхности подстилающих известняков, обычно закарстованных и перекрытых несогласно залегающими более молодыми карбонатными толщами. Карстовые образования представляют собой ловушки, благоприятные для накопления бокситов и для сохранения их от последующего размыва. Бокситовые пласты и вмещающие породы обычно смяты в складки и метаморфизованы. Источником для образования бокситов были коры выветривания основных эффузивов, сланцев и других пород, расположенных вблизи карстовых полостей. По мнению некоторых исследователей в прибрежно-морских районах эксплозивной вулканической деятельности карстовые полости на рифовых плато заполнялись вулканическим пеплом, за счет выветривания которого происходило бокситообразование.

Бокситовые месторождения геосинклинального типа широко развиты на Северном и Южном Урале, в Салаирском кряже, в странах Средиземноморского бассейна (Франция, Венгрия, Хорватия, Югославия, Турция).

***Месторождения и рудопроявления в Беларуси*.** В Беларуси выявлены боксит-давсонитовые руды – минеральное сырье, перспективное как для производства металлического алюминия, так и природной соды. *Давсонит* *[NaAl(CO3)(OH)2]* впервые был обнаружен в начале 1970-х годов в разрезе Осташковичской скв. 11-к в интервале глубин 1192,1–1198,9 м, а несколько позже – на Заозерной площади. На Осташковичской площади давсонит встречается в ассоциации преимущественно с доломитом, ангидритом, гематитом, сидеритом, каолинитом (гиббсит и бёмит отсутствуют), а на Заозерной – в парагенезисе с гиббситом, бёмитом, каолинитом, сидеритом, кальцитом и гематитом.

*Заозерное месторождение боксит-давсонитовых руд*. Оно расположено в Ельском районе Гомельской области и охватывает площадь   
8×12 км. Продуктивными являются нижнекаменноугольные отложения бобрикского горизонта визейского яруса. Месторождение приурочено к антиклинальной структуре, ось которой вытянута в северо-восточном направлении. В наиболее приподнятой сводовой части кровля горизонта залегает на глубине 290–300 м. Северное крыло структуры погружается под углом 15º, а южное – 12–20º.

Боксит-давсонитовое оруденение приурочено к верхам горизонта с характерным цикличным строением. Каждый цикл состоит из двух элементов: нижнего – песчаников и песчано-алевритовых пород, верхнего – каолинитов. Рудоносной породой является верхняя каолинитовая часть последнего цикла. При подсчете прогнозных ресурсов минимальная мощность рудных тел принималась 1 м при минимальном содержании давсонита 5 %. При этих условиях на Заозерном месторождении выделены Северная и Южная рудные зоны, вытянутые вдоль склонов структуры. Каждая из зон в своем составе имеет западную и восточную линзы.

Минеральный состав руд и вмещающих пород довольно прост: основным компонентом вмещающих пород является каолинит, главным рудным минералом – давсонит, его среднее содержание в главном рудном теле составляет 25 %, в отдельных пересечениях достигает 40–45 %, а максимальное – 63 %. Давсонит образует глобули игольчатого строения, гнездовые и послойные скопления глобулей, сплошную массу лучистых сростков тончайших белых кристаллов. Иногда он в виде чешуйчатой массы заполняет промежутки между нитями и струями гематита, образующего метаморфозы по растительной ткани, и промежутки в фюзенизированных растительных тканях.

Бокситовые минералы на Заозерном месторождении представлены гиббситом, нордстрандитом и бёмитом. Гиббсит встречается в тесной ассоциации с каолинитом; нордстрандит образует различного рода друзовые сростки, сложенные хорошо ограненными лучевидно расходящимися кристаллами, а также скопления неправильной формы. Бёмит присутствует в породе в микрозернистой и скрытокристаллической формах. Сопутствующие минералы представлены сидеритом, кальцинитом, доломитом, гематитом и кварцем. Для руд Заозерного месторождения характерно повышенное содержание галлия, лития, ниобия и титана. Ресурсы давсонитовых и бокситдавсонитовых руд категории P1 составляют 181,7 млн т при среднем содержании давсонита 21 %.

Ресурсы давсонитовых и боксит-давсонитовых руд Беларуси могут быть существенно расширены за счет доизучения известных перспективных площадей (Наровлянская, Северо-Карповичская, Мытвинская, Осташковичская) и выявления новых. Прогнозные ресурсы этого вида минерального сырья в Припятском прогибе составляют около 2,6 млрд т.

***Основные типы магниевых месторождений***: доломитовые пластовые месторождения; карналлитовые и карналлит-бишофитовые пластовые месторождения; магнезитовые преимущественно пластообразные месторождения; подземные рассолы, рапа соляных озер и морская вода как источники магния. К второстепенным и возможным источникам магния относятся: пластообразные латеритные магнезитовые месторождения; асбестовые отходы.

**10.2 Литий и бериллий**

1. Геохимия, минералогия и металлогения

2. Генетические типы промышленных месторождений

**1. Геохимия, минералогия и металлогения**

Геохимия и минералогия. Кларк лития 2,9×10-3 %. Он содержится в 28 минералах. К промышленным относятся *сподумен LiАlSi2О6* (до 8 % *Li2О*) и *лепидолит* (силикат, 2–6 % *LiО2)*. Извлекается он также из *амблигонита* (фосфат, 6–9 % *Li2О*), *циннвальдита* (силикат, 3–4 % *Li2О*), петалита (силикат, до 4,5 % *Li2О*). Типы руд и кондиции. Главными рудами лития являются сподуменовые (около 80 % запасов); промышленное значение имеют также лепидолитовые руды. Важным источником лития служит рапа некоторых озер, морская вода, подземные минерализованные воды. Кондиционное содержание – около 1 % *Li2О* в руде и 0,05–0,1 % в рапе.

Литий благодаря низкой плотности (0,53 г/см3), большой теплоемкости, высокой реакционной способности и возможности легко образовывать сплавы с бериллием, магнием, алюминием, медью, свинцом применяется более чем в 150 областях, в том числе в атомной энергетике, производстве пластмасс, электротехнике (в щелочных аккумуляторах), керамической и химической промышленности, металлургии. Кроме того, литий может служить источником получения трития для термоядерных процессов.

**2. Генетические типы промышленных месторождений**

***Промышленные месторождения лития*** – это пегматиты и минеральные воды. Пегматитовые литиевые месторождения представлены крутопадающими жилами сподумен-альбитового состава, пологими залежами, мощными линзообразными телами и штоками микроклинсподумен (петалит)-альбитовых руд. В них содержится около 50 % запасов и добывается более 70 % лития. Литиевые пегматиты находятся в США, Канаде, Испании, Афганистане, Зимбабве, КНР. В минеральных водах сконцентрировано более 50 % запасов лития. Выделяется несколько разновидностей литийсодержащих вод: 1) рапа высохших соляных и содовых озер (Серлс в США); 2) рассолы усыхающих озер, лагун, заливов и морей (Большое Соленое Озеро в США; Мертвое море; Салар-де-Атакама в Чили); 3) подземные рассолы (Клейтон-Велли в США); 4) подземные воды нефтяных и газовых месторождений.

Все ***месторождения бериллия*** относятся к эндогенным. Промышленное значение имеют пегматитовые, гидротермальные плутоногенные и вулканогенные, грейзеновые. Первое место (более 75 %) по запасам бериллия зарубежных странах занимают пегматитовые месторождения, на второе в последние годы вышли щелочные метасоматиты (около 12 %), на третьем и четвертом соответственно гидротермальные (6 %) и грейзеновые (5 %) месторождения. Однако по добыче распределение совершенно иное (%): гидротермальные – 70, пегматитовые – 17, грейзеновые – 13. Метасоматиты пока не разрабатываются.

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

*Гидротермальные плутоногенные месторождения* связаны с гипабиссальными мелкими интрузиями граносиенитов, кварцевых сиенитов и щелочных гранитов. Рудные тела приурочены к дорудным дайкам. Руды сложены флюоритом с фенакитоми бертрандитом и характеризуются высоким содержанием бериллия (0,5–1,5 % *ВеО*). Месторождения этого типа имеются в Мексике (Агуачили).

*Гидротермальные вулканогенные месторождения* размещены: в измененных липаритовых туфах и туфолавах. Руды образуют тонкие прожилки и вкрапленность в породах. Главные бериллиевые минералы – бертрандит и его водные разновидности – ассоциируют с халцедоном, опалом, флюоритом, кальцитом. Содержание *ВеО* до 0,5–0,7 %. Примером месторождений данного типа является Спер-Маунтин (США).

*Грейзеновые месторождения* представлены штокверками и жилами в верхних частях гранитных куполов. Помимо берилла руды содержат минералы тантала, ниобия, лития, олова, вольфрама. Содержание *ВеО* до 0,2–0,3 %. Месторождения бериллоносных грейзенов находятся в США, Австралии, КНР.

**Раздел 11 Цветные металлы**

**11.1 Цинк и свинец**

1. Геохимия, минералогия и металлогения

2. Генетические типы промышленных месторождений

**1. Геохимия, минералогия и металлогения**

В природе свинец и цинк встречаются обычно в месте, образуя комплексные свинцово-цинковые полиметаллические руды. Кроме них в состав этих руд часто входят *Ag, Cd, Au* и другие металлы.

Кларк свинца в земной коре 1,6⋅10-3 %. Содержание его увеличивается от ультраосновных (1⋅10-5 %) к кислым магматическим породам (2⋅10-3 %). Известно четыре стабильных изотопа свинца с массовыми числами 204 и 206–208, среди них преобладает 208Pb.

Природные соединения свинца, как правило, двухвалентны, исключение составляют лишь *PbO2 и Pb3O4*. Ионы свинца электроположительные. Типичны катионы, вызывающие ясно выраженную поляризацию.

Кларк цинка несколько выше, чем свинца и составляет 8,3⋅10-3 %. Наблюдается увеличение содержания его от ультраосновных к основным магматическим породам. Цинк типичный четный элемент из группы побочных, т. е. дающий ионы типа купро с сильной активной поляризацией. Цинк имеет пять стабильных изотопов с массовыми числами 64, 66–68 и 70, среди которых преобладает *64Zn.*

Свинец и цинк концентрируются в остаточных очагах кислых производных базальтовой и гранитной магм. Оба металла выносятся гидротермальными растворами в комплексных соединениях в виде солей хлористоводородной, угольной, серной, хромовой, молибденовой, фосфорной и других кислот. Многочисленны также соли сульфокислот с мышьяком и сурьмой.

В экзогенных условиях сульфиды свинца и цинка, окисляясь переходят в сульфаты. Сульфат цинка относится к легкорастворимым соединениям и обладает высокой миграционной способностью, сульфат свинца, наоборот, плохо растворим, и свинец обычно не выносится из зоны окисления.

Главными минералами свинца являются галенит, буланжерит, бурнонит, церуссит и англезит, а главными минералами цинка – сфалерит, вюртцит, смитсонит и каламин.

*Галенит PbS* (содержание *Pb* 86,6 %), часто наблюдаются примеси *Ag, Cu, Zn*. Кристаллизуется в кубической сингонии, кристаллы кубические, кубооктаэдрические, октаэдрические, реже триоктаэдрические, скелетные. Образует зернистые агрегаты и друзы. Цвет минерала серый, в отраженном свете белый, твердость 2–3, удельная масса 7,6 г/см3.

*Буланжерит Pb5Sb4S11* (содержание *Pb* 55,4 %) (по фамилии Буланже), содержит обычно примеси *Cu и Fe*. Кристаллизуется в моноклинальной сингонии, кристаллы игольчатые или призматические. Встречается в виде агрегатов зернистых, волокнистых и перистых. Цвет синевато-свинцово-серый до черного, черта серо-черная с красноватым оттенком, блеск металлический, твердость 2,5–3, удельная масса 6,0–6,2 г/см3. Распространен в средне- и низкотемпературных гидротермальных месторождениях.

*Бурнонит CuPbSbS3* (*Pb* 42,5 %) (по фамилии Бурнон). Кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы короткопризматические, таблитчатые и псевдогексогональные; агрегаты зернистые. Цвет минерала стально-серый до темно-серого, черта темно-серая, блеск металлический, твердость 2,5–3, удельная масса 5,8 г/см3. Встречается в средне- и низкотемпературных гидротермальных свинцово-цинковых и сурьмяных месторождениях с сульфосолями цинка и свинца.

*Церуссит PbCO3* (*Pb* 77,6 %), примеси *Ag, Sr, Zn.* Кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы псевдогексагонально-дипирамидальные, таблитчатые и др. Характерны зернистые, порошковатые и волокнистые агрегаты. Цвет обычно белый, серый, реже черный, бурый, синий, блеск алмазный, твердость 3–3,5, удельная масса 6,4 г/см3.

*Англезит PbSO4* (содержание *Pb* 68,3 %). Назван по месту его находки на о. Энглези (Великобритания). Кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы от тонко- до толстотаблитчатых, призматические, агрегаты зернистые и желваковые, твердость 2,5–3, удельная масса 6,4 г/см3.

*Сфалерит ZnS* (*Zn* 67 %), примеси *Fe, Cd, Ir, Ga, Mn, Hg* и др. Кристаллизуется в кубической сингонии, габитус кристаллов: тетраэдрический, кубооктаэдрический, додекаэдрический. Характерны агрегаты зернистые, скорлуповатые, почковидные, колломорфные, землистые. Цвет минерала черный, бурый, красноватый, желтый, зеленый, бесцветный, блеск жирный, алмазный. Широко распространен в гидротермальных месторождениях различных типов, особенно в свинцово-цинковых, оловянных и колчеданных.

*Вюртцит ZnS* (*Zn* 63 %) (по фамилии Вюртц). Кристаллизуется в гексагональной и тригональной сингониях. Образует пять полиморфных модификаций с одинаковыми физическими свойствами. Кристаллы пирамидальные и таблитчатые, агрегаты: коломорфные, концентрически-лучистые, слоистые, волокнистые. Бесцветный, бурый до черного (в зависимости от содержания железа), блеск смолистый, стеклянный, твердость 3,5–4, удельная масса 3,9–4,0 г/см3.

*Смитсонит* ZnCO3 (Zn 52 %) (по фамилии Смитсон), изоморфные примеси *Fe, Mn, Mg, Co, Cu, Pb, Cd, In* и др. Кристаллизуется в тригональной сингонии, кристаллы скаленоэдрические, ромбоэдрические, агрегаты: зернистые, скорлуповатые, почковидные, землистые, ячеистые и др. Цвет минерала белый, зеленовато-серый, буроватый, блеск стекловатый, твердость 4–5, удельная масса 4,5 г/см3, вскипает с *HCl* на холоде.

*Каламин Zn[Si2O7](OH)2* (*Zn* 53,7 %), кристаллизуется в ромбической сингонии, габитус кристаллов таблитчатый, призматический. Характерны агрегаты: друзы, сталактиты, гроздьевидные, волокнистые, зернистые и иные. Цвет белый, голубоватый до бурого, блеск стеклянный, твердость 4,5–5,0 удельная масса 3,5 г/см3.

Около 40 % выплавляемого свинца используется для производства аккумуляторов. Он широко применяется как антидетонаторная добавка в бензин (тетраэтилсвинец), для изготовления оболочек кабеля, защитных экранов от радиоактивного излучения, в военном деле и т. д. Свинец входит в состав бронз, латуней, баббитов, типографских сплавов.

Цинк, благодаря своим антикоррозионным свойствам, употребляется в металлическом виде для оцинкования различных изделий – железных листов, труб, проволоки. Значительное количество его используется для получения сплавов (бронза, мельхиор, латунь). Эти сплавы применяются в машиностроении, приборостроении, а мельхиор – для изготовления посуды, хирургических инструментов, художественных изделий.

Требования промышленности к рудам свинца и цинка не одинаковы. Так, в месторождениях собственно свинцовых руд минимальное содержание металла принимается 3 %, в собственно цинковых рудах – 5 %. В комплексных свинцово-цинковых рудах содержащих примеси серебра, иногда кадмия и других элементов, количество свинца и цинка (в сумме) должно быть не ниже 3%, причем свинца не менее 1 %.

Около 65 % мировых разведанных запасов свинца приходится на 8 стран, каждая из которых располагает запасами металла более 5 млн т: это Австралия, Казахстан, Россия, США, Канада, Китай, Индия и ЮАР. В США наиболее крупные месторождения свинца находятся в штате Миссури, где сконцентрировано примерно 30 % подтвержденных запасов, а также в штатах Айдахо, Колорадо и Аляска, где добыча полиметаллических руд производится уже несколько десятилетий.

Мировые ресурсы цинка оцениваются в 1,8 млрд т. Они сосредоточены в основном в Канаде, США, России, Перу, Казахстане, Китае, Индии и Испании. Общие запасы цинка в мире (без России) составляли 490 млн т, а подтвержденные – 275 млн т. Около 39,4 % подтвержденных запасов сосредоточено в Азии и 24,4 % в Америке.

В мире насчитывается около 43 крупных свинцово-цинковых месторождений с запасами каждого свыше 1 млн т цинка. Наиболее крупными среди них являются Маунт-Айза, Хилтон (Австралия), Кидд-Крик, Салливан, Полярис (Канада), Рэд-Дог, Балмат-Эдвардс (США), Жайрем, Шалгия (Казахстан), Уч-Кулач (Узбекистан), Озерное, Холоднинское, Горевское (Россия) и др.

Россия занимает первое место в мире по подтвержденным запасам цинка и третье – по общим (после Австралии и Канады). Около 95% запасов цинковых руд связаны с колчеданно-полиметаллическими, полиметаллическими и медно-колчеданными месторождениями.

***Металлогения и эпохи рудообразования*.** На ранней стадии геосинклинального этапа в связи с базальтоидным вулканизмом формировались преимущественно колчеданные месторождения, а на поздней стадии развития геосинклиналей и в связи с активизацией платформ и древних складчатых областей возникали разнообразные месторождения: скарновые в экзоконтактах гранитоидных интрузий; плутоногенные гидротермальные в карбонатных породах, гранитоидах и в метаморфических толщах; вулканогенные гидротермальные в связи с андезит-липаритовыми формациями. На платформенном этапе в карбонатных толщах образовывались крупные стратиформные месторождения свинцово-цинковых руд. Свинцово-цинковые месторождения возникали в различные эпохи рудообразования, начиная с раннего протерозоя и до настоящего времени.

*Докембрийская эпоха рудообразования.* Свинец и цинк в целом не характерны для металлогении докембрия и обычно встречаются (преимущественно цинк) в качестве сопутствующих компонентов в рудах медноколчеданных месторождений. Тем не менее, в эту эпоху образовалось несколько уникальных по запасам и качеству руд месторождений – Брокен-Хилл, Маунт-Айза в Австралии и Салливан в Канаде. В России в Восточной Сибири разведаны Горевское и Холоднинское месторождения. Рудные залежи Горевского месторождения пласто- и линзообразной формы, залегают согласно с доломитизированными и окварцованными известняками, прорванными дайками и штоками оливиновых долеритов. С оливиновыми долеритами парагенетически связано оруденение. Основные рудообразующие минералы: галенит, сфалерит и пирротин (среднее содержание сульфидов в рудах 16–20 %).

*Раннепалеозойская (каледонская) эпоха рудообразования.* Промышленные месторождения свинца и цинка раннепалеозойского возраста встречаются редко. В странах дальнего зарубежья заслуживает внимания месторождение Броудвин в Мьянме (Бирме). Оруденение приурочено к толще эффузивных образований (мощность рудного тела около 15 м, рудные минералы – галенит, сфалерит и халькопирит). Разведанные запасы 6,3 млн т руды, среднее содержание *Pb* 14,8 %, *Zn* 8,2 %, *Ni* 2 % и *Co* 1 %. В России в раннем палеозое сформировались полиметаллические месторождения Салаирского и Урского рудных районов в Западной Сибири. Руды этих месторождений приурочены к комплексу эффузивно-осадочных пород нижнего кембрия. Колчеданно-полиметаллические месторождения выявлены также в вулканогенно-осадочных комплексах Западного Прибайкалья и в Республике Саха.

*Позднепалеозойская (герцинская) эпоха рудообразования* ознаменовалась формированием крупных месторождений полиметаллических руд в США и Канаде. В США в эту эпоху возникла крупнейшая в мире провинция полиметаллических месторождений долины Миссисипи. Рудная минерализация здесь проявилась в форме замещения карбонатных пластов или выполнения трещин в брекчированных кремнистых породах. Среднее содержание цинка в добываемой руде составляет 3–5 %, свинца 0,4–1 %. В Канаде к позднепалеозойскому возрасту относится одно из крупнейших в мире месторождений Пайн-Пойнт, разведанное близ Большого Невольничьего озера. Полиметаллическое оруденение приурочено к доломитам, в которых рудные минералы (сфалерит, галенит, марказит и пирит) выполняют пустоты. Содержание цинка в рудах составляет 7,4 %, свинца 4 %.

Промышленные месторождения свинца и цинка этого возраста выявлены в Германии, Италии, Франции, Ирландии и других странах. В Ирландии разрабатываются относительно крупные месторождения Тайнах, Сильвермайнз и Нейвен.

*Мезозойская эпоха рудообразования.* Среди полиметаллических месторождений в Европе большой интерес представляют метасоматические свинцово-цинковые месторождения Польши. Они приурочены к известнякам и доломитам нижнего и среднего триаса. По масштабу минерализации особенно выделяется Бейтенская синклиналь. В Испании к мезозойской эпохе рудообразования относится самое крупное в стране месторождение цинка Реосин, приуроченное к доломитам аптского возраста (содержание в руде *Zn* 15 % и *Pb* 2,5 %).

В России мезозойские месторождения полиметаллических руд развиты преимущественно в Забайкалье и Приморском крае. В большинстве разведанных месторождений главными рудными минералами являются: пирит, сфалерит, галенит, арсенопирит, буланжерит, тетраэдрит, халькопирит и аргентит. Среди забайкальских полиметаллических месторождений различают следующие основные структурные типы рудных тел: 1) трубы в известняках и доломитах на пересечении либо в сочленении сколовых трещин; 2) линзообразные тела в зонах смятия среди углисто-известковисто-глинистых сланцев, сопровождаемые штокверками в апикальных частях небольших интрузивов гранитоидов; 3) рудные штоки в известняках в зонах древних карстов; 4) штокверковые зоны в пластах известняков среди сланцев; 5) линзы и пластовые метасоматические тела в известняках и сланцах, пересеченных разломами. На Дальнем Востоке мезозойский возраст имеют месторождения Тетюхинской группы в Приморском крае, принадлежащие к типу инфильтрационных скарнов.

*Кайнозойская эпоха рудообразования* ознаменовалась формированием месторождений, сосредоточенных преимущественно в странах Западного полушария, особенно в США, Канаде, Мексике и Перу. Для этих рудных районов характерно широкое проявление наряду с цинком и свинцом также серебра. В США большинство месторождений расположено в Кордильерах, где особенно интенсивно проявились тектонические движения и вулканическая деятельность в кайнозое. Большое экономическое значение имеет район Кер д,Ален в штате Айдахо.

Полиметаллические месторождения в Мексике распространены почти повсеместно. Наибольшей продуктивностью отличаются месторождения в пределах Мексиканского плато. Они генетически связаны с третичными, преимущественно миоценовыми аляскитами, диоритами и кварцевыми монцонитами. К этому типу интрузивной деятельности относятся также мощные излияния андезитов и риолитов, к которым приурочены многие месторождения. В Перу большая часть полиметаллических месторождений расположена вдоль главного хребта Высоких Анд, где они прослеживаются на протяжении более 350 км. Месторождения приурочены обычно к вулканогенно-осадочным образованиям третичного возраста и генетически связаны со штоками и дайками монцонит-порфиров и другими гипабиссальными интрузиями. Большое экономическое значение имеет месторождение Серро де Паско, расположенное в вулканической кальдере на высоте 4500 м. Запасы руд месторождения составляют 45 млн т при содержании *Pb* 3 %, *Zn* 9 %, *Cu* 0,15 %, *Bi* 0,23 % и *Ag* 142 г/т. Крупными являются также месторождения полиметаллических руд Морокоча и Касапалка.

**2. Генетические типы промышленных месторождений**

Основными типами промышленных месторождений свинца и цинка являются: 1) скарновые, 2) плутоногенные гидротермальные,   
3) вулканогенные гидротермальные, 4) стратиформные, 5) колчеданные,   
6) метаморфизованные.

*Скарновые месторождения* приурочены обычно к контактовой или экзоконтактовой зонам интрузивов и вмещающих осадочных или вулканогенно-осадочных толщ, содержащих пласты известняков. Оруденение, как правило, контролируется разрывами, межформационными срывами, зонами трещиноватости и брекчирования. Форма рудных тел пластообразная, линзовидная, жилообразная. Протяженность их многие сотни метров, мощность – десятки метров.

Минеральный состав руд определяется комбинацией скарнообразующих силикатов и сульфидных минералов (галенит, сфалерит, реже халькопирит, пирротин, арсенопирит, пирит и др.). Кроме свинца и цинка в рудах скарновых месторождений содержится немного меди, висмута, серебра, кадмия и индия. Нерудные минералы представлены чаще всего пироксенами – диопсидом, авгитом, геденбергитом и др.

Скарновые месторождения свинца и цинка известны в России (месторождение Верхнее в Приморском крае), Казахстане (Кызыл-Эспе, Аскоран), Швеции (Аммаберг, Сала), США (Лоуренс, Франклин-Фернас), Мексике (Эль-Потоси), Китае (Тембушань) и других странах.

*Плутоногенные гидротермальные месторождения* имеют большое экономическое значение в мировой добыче свинца и цинка. Они разрабатываются во многих странах: в России (Екатерино-Благодатское, Кадаинское, Згид и др.), США (Тинтик, Кер д,Ален, Ледвилл), Канаде (Кен-Хилл), Болгарии (Руен, Говедарник), Чехии (Пшибрам) и др. Оруденение пространственно и парагенетически связано с интрузиями гранодиорит-порфиров или гранит-порфиров, а также с дайками диорит-порфиритов и диабазовых порфиритов. Рудные тела имеют пластообразную, линзовидную, штоко-, трубо- и жилообразную форму и прослеживаются на десятки – сотни метров, а отдельные жилы – на 1–2 км по простиранию. Мощность рудных тел варьирует от 0,5 до 200 м. Главные рудные минералы: сфалерит, галенит, пирротин, арсенопирит, марказит, буланжерит, джемсонит; жильные – кварц, кальцит и доломит.

Среди месторождений этого типа выделяют две формации – *метасоматическую пирит-галенит-сфалеритовую в карбонатных породах* (Екатерино-Благодатское, Тинтик и др.) и *жильную галенит-сфалеритовую в гранитоидах и сланцах* (Згид, Садонское).

*Вулканогенные гидротермальные месторождения* свинца и цинка, как правило, содержат также серебро. Они известны в России (Новоширокинское в Забайкалье), Армении (Шаумян), Болгарии (Маджарово), Перу (Касапалка), Украине (Береговское, Беганьскае) и других странах. Оруденение приурочено к жерловым, экструзивным и субвулканическим фациям вулканитов. Месторождения пространственно связаны с вулканическими структурами, и в частности, с зонами дробления и трещинами-кольцевыми, радиальными и линейными. Рудные тела имеют жильную, линзовидную или штокверковую форму.

Главные рудные минералы: сфалерит, галенит, пирит и халькопирит; жильные – кварц, кальцит, реже барит и флюорит. Второстепенные рудные минералы: арсенопирит, блеклая руда, борнит, пираргирит, аргентит, буланжерит. Текстуры руд – прожилковые, полосчатые брекчиевые и крустификационные, структуры – мелко- и среднезернистые, колломорфные, метаколлоидные. Минералообразование происходило в несколько стадий. Руды сформировались в интервале температур 300–100º С на глубине от первых сотен метров до 1000 м.

*Стратиформные месторождения* связаны обычно с мощными карбонатными толщами преимущественно палеозойского и мезозойского возраста. Для этих месторождений характерен четкий стратиграфический и литофациальный контроль, а также отсутствие в непосредственной близости магматических комплексов. Рудные тела представлены, как правило, согласными пластовыми или лентовидными залежами, которые характеризуются большой протяженностью по простиранию (от сотен метров до первых километров) и значительной мощностью (от 0,5 до 200 м). Главные рудные минералы: сфалерит, галенит, пирит; жильные – кальцинит, доломит, реже барит.

Месторождения этого типа широко распространены на Земле: Сардана (Республика Саха), Миргалимсай и Шалгия в Казахстане, Седмочисленицы (Болгария), Окульш и Болеслав (Польша), Бляйберг (Австрия), Малин, Трев и Ларжатьер (Франция), Эль-Абед (Алжир), Бу-Беккер (Марокко), Миссисипи-Миссури (США) и т. д.

*Колчеданные месторождения* известны в России (Холоднинское, Озерное в Забайкалье), Казахстане (Жайрем, Текели и др.), Германии (Раммельсберг), Испании (Рио-Тинто), Норвегии (Блейквассли), Турции (Эргани), США (Вест-Шаста), Канаде (Салливан). Крупные месторождения находятся в Рудном Алтае (Риддер-Сокольное, Лениногорское, Зыряновское и др.). Пространственно и генетически они связаны с кислыми производными базалтоидного вулканизма и приурочены к вулкано-купольным структурам, жерловым структурам, вулкано-тектоническим и межвулканическим декрессиям, зонам трещенноватости и разломам кольцевого и линейного типа.

Форма рудных тел чаще всего пластообразная, линзовидная, жильная, иногда наблюдаются рудные штокверки. Размеры пластообразных залежей достигают 0,5–2 км по простиранию и 500–600 м и более по падению при мощности от нескольких до 20 м и более. Руды по составу свинцово-цинковые, медно-свинцово-цинковые и свинцовые. Господствующим минералом является пирит, на долю которого приходится до 80–90 % от всей массы рудных минералов; главные минералы: сфалерит, галенит, иногда халькопирит; второстепенные – пирротин, арсенопирит, бурнонит, блеклые руды и марказит.

Среди колчеданных месторождений выделяются две рудные формации: 1) *халькопирит-галенит-сфалерит-пиритовая* в вулканогенных комплексах (Зыряновское, Риддер-Сокольное, Рио-Тинто, Шаканаи); 2) *галенит-сфалерит-пиритовая* в вулканогенно-терригенных и вулканогенно-карбонатных комплексах (Жайрем, Раммельсберг).

*Метаморфизованные месторождения* свинца и цинка выявлены в России (Горевское и Россохинское в Енисейском кряже, Таборное и Таежное в Прибайкалье), США (Юнайтед-Верде), Канаде (Флин-Флон), Индии (Мохна-Магра), Австралии (Брокен-Хилл, Маунт-Айза, Мак-Артур-Ривер). Они приурочены, как правило, к протерозойским и нижнепалеозойским кристаллическим и метаморфическим сланцам и мраморизованным известнякам, слагающим щиты или древние складчатые области. Рудные тела представлены пластовыми и пластообразными залежами большой протяженности (сотни метров – первые километры) при мощности их 10–100 м. Метаморфические изменения вмещающих пород проявились в их перекристаллизации и метаморфизме до эпидот-амфиболитовой, биотит-гранатовой, гранат-амфиболитовой и гранулитовой фаций. Среди метаморфизованных месторождений известны две рудные формации: 1) *пирротин-пирит-сфалерит-галенитовая* в метаморфизованных карбонатных породах (Горевское месторождение и др.); 2) *галенит-сфалерит-пирротин-пиритовая* в метаморфизованных осадочных силикатных породах (Брокен-Хилл, Россохинское и др.).

***Рудопроявления в Беларуси*.** Проявления свинца и цинка имеются в породах кристаллического фундамента. *Рубежевичское проявление* связано с колчеданно-полиметаллической формацией. В скв. № 38ж, вскрывшей метасоматически измененные породы в отдельных интервалах выявлена сульфидная минерализация. В интервале глубин 465–505 м сульфидная минерализация представлена вкрапленностью и прожилками сфалерита и галенита с примесью халькопирита, пирита, марказита и гематита. Среднее содержание Zn 8 %, максимальное – 10 %, Cu – 0,1 %. С сульфидно-полиметалличес-кой формацией связаны мелкие *рудопроявления Ельня и Ляцкое*, расположенные вблизи Щучинского глубинного разлома. Вмещающие породы подверглись гидротермальной проработке: хлоритизированы, биотизированы, окварцованы, скаполитизированы и содержат вкрапленность и тонкие прожилки сульфидов. Среди последних выделены: галенит, сфалерит, пирит, пирротин; редко встречаются халькопирит, арсенопирит, молибденит, марказит.

**11.2** **Сурьма, медь и никель**

1. Геохимия, минералогия и металлогения

2. Генетические типы промышленных месторождений

**1. Геохимия, минералогия и металлогения**

***Сурьма*** – твердый и хрупкий серебристо-белый с синеватым оттенком металл, который при обычной температуре на воздухе не окисляется, но при нагревании сгораем, образуя оксид в виде белого дыма.

Кларк сурьмы 5⋅10-5 %. Величина кларка мало изменяется для магматических пород, несколько увеличиваясь в производных базальтоидной магмы. В осадочных породах наиболее высокие концентрации Sb отличаются в сланцах (1,2⋅10-4 %), бокситах и фосфоритах (2⋅10-5 %). Сурьма представлена двумя стабильными изотопами с массовыми числами 121 и 123.

Сурьма, с одной стороны, в природных соединениях имеет свойства металла и является типичным халькофильным элементом, образуя антимонит, а с другой стороны, ей свойственны черты металлоида, проявляющиеся в образовании различных сульфосолей – буланжерита, бурнонита, джемсонита и др. В этих минералах четко проявляется изоморфизм сурьмы, мышьяка, висмута и др. Источник сурьмы, по мнению большинства исследователей, ювенильный – подкоровый. В гидротермальных растворах сурьма переносилась в комплексных соединениях в виде тиокислот типа Na3SbS3; возможен также перенос в галогенидах типа SbCl3, обладающих высокой летучестью. Минералы сурьмы осаждались в интервале температур 400–50° С. В экзогенных условиях первичные сульфидные минералы подвергаются окислению, возникающий при этом сульфат сурьмы очень неустойчив, быстро гидролизуется и переходит в оксиды и гидрооксиды – сурьмяные охры (сервантит, стибиоконит, валентинит и др.).

Известно 75 минералов, содержащих сурьму. В первичных рудах главнейшим минералом является антимонит, на долю которого приходится не менее 85 % производства сурьмы. Меньшее значение имеют: в первичных рудах ливингстонит, бертьерит, гудмундит, тетраэдрит, джемсонит, буланжерит, надорит; в оксидных рудах – валентинит, сенармонтит, сервантит, кермезит, стибиоконит.

*Антимонит* (синоним: *стибнит, сурьмяной блеск*) Sb2S3 (содержание Sb 71,4 %) кристаллизуется в ромбической сингонии, габитус кристаллов столбчатый, игольчатый, агрегаты зернистые, спутанноволокнистые, веерообразные. Цвет минерала серый до черного с синей или радужной побежалостью, черта черная, твердость 2, удельная масса 4,66 г/см3. Распространен в низкотемпературных, гидротермальных сурьмяно-ртутных месторождениях, реже в свинцово-цинковых, в отложениях горячих источников и возгонах вулканов.

*Ливингстонит HgSb4S7* (*Sb* 51,6 %) (по фамилии Ливингстон) кристаллизуется в моноклинальной сингонии, кристаллы столбчатые или игольчатые, агрегаты волокнистые и лучистые. Цвет свинцово-серый, черта красная, блеск полуметаллический, твердость 2, удельная масса 4,8–5,0 г/см3. Втречается в гидротермальных месторождениях в парагенезисе с киноварью, антимонитом, валентинитом, гипсом и серой.

*Бертьерит FeSbS4* (*Sb* 57,0 %) (по фамилии Бертье) кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы игольчатые или призматические, агрегаты зернистые, волокнистые, перистые. Цвет минерала темно-серый, часто с пестрой побежалостью, черта буро-серая, твердость 2–3, удельная масса   
4,64 г/см3.

*Гудмундит FeSbS* (*Sb* 57,8 %) кристаллизуемся в моноклинальной сингонии, кристаллы призматические, агрегаты зернистые, цвет серебристо-белый, блеск металлический.

*Валентинит Sb2O* (*Sb* 83,5 %) (по фамилии Валентин) кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы призматические, таблитчатые, агрегаты сплошные с пластинчатой, столбчатой или зернистой структурой, блеск алмазный, твердость 2,5–3, удельная масса 5,76 г/см3.

*Сенармонтит Sb2O3* (*Sb* 83,5 %) (по фамилии Сенармон), кристаллизуется в кубической сингонии, габитус октаэдрический, агрегаты землистые и в виде корочек, бесцветный или сероватый, твердость 2–2,5, удельная масса 5,5 г/см3.

*Сервантит Sb*2O4 (*Sb* 79,2 %) (по фамилии Сервантес) кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы игольчатые, агрегаты порошковатые, плотные, цвет белый, желтый, твердость 4–5, удельная масса 5 г/см3.

***Применение в промышленности.*** Металлическая сурьма вследствие своей хрупкости применяется очень редко. Она используется в основном в качестве составной части сплавов. Сурьма придает прочность, твердость и коррозионную устойчивость сплавам со свинцом, медью, цинком. На производство 1 т баббитового сплава расходуется от 30 до 200 кг сурьмы. Она широко применяется для изготовления «британского металла» (олово, сурьма и медь), идущего для производства посуды и утвари. Наиболее емкими и традиционными потребителями сурьмы и ее сплавов являются автомобильная, полиграфическая, химическая и стекольно-керамическая промышленность. Кроме того, сурьма применяется для воронения стали, в пиротехнике, медицине, для изготовления полупроводников.

Особенно ценятся в промышленности богатые антимонитовые руды (Sb2S3), именуемые крудум. Они применяются непосредственно в ряде отраслей промышленности и для выплавки регулюса – металлической сурьмы. Сурьму получают из сурьмяных, ртутно-сурьмяных и золото-сурьмяных руд, попутно из полиметаллических, оловянных и вольфрамовых руд. Минимальное содержание Sb в рудах для рентабельной переработки должно быть не менее 1,5–2 %, а в комплексных рудах более 0,5 %.

Ресурсы сурьмы оценены в 33 странах. Основная часть их сосредоточена в Китае (43 %), России (12 %), а также в Таджикистане, Таиланде, Боливии, ЮАР, Мексике и Киргизии (27 % суммарно). Общие мировые запасы сурьмы составляют 6,3 млн т, а подтвержденные – 4,6 млн т. Доминирующая роль принадлежит Китаю – 50 % общих и 49 % подтвержденных мировых запасов. Доля России в общих запасах – 7 % (2-е место в мире), в подтвержденных –   
4 % (6-е место).

***Металлогения и эпохи рудообразования.*** Месторождения сурьмы формировались из низкотемпературных гидротермальных растворов, имевших парагенетическую связь с производными базальтоидной магмы. Все известные месторождения развиты, как правило, в складчатых областях и на активизированных платформах. Наиболее крупные из них связаны со складчатыми структурами и размещаются в зонах окварцованных брекчий, залегающих на контактах пород с различными физико-механическими свойствами. Рудоносные площади обычно разбиты крутопадающими разрывными нарушениями, которые являлись рудоподводящими каналами для поднимавшихся снизу растворов, содержащих сурьму. Превалирующее большинство месторождений расположено в трех глобальных рудных поясах: Тихоокеанском, Средиземноморском и Центрально-Азиатском.

*Докембрийская и раннепалеозойские эпохи* являлись неблагоприятными для образования сурьмяных месторождений.

В *позднепалеозойскую (герцинскую) эпоху* возникли относительно небольшие месторождения и рудопроявления в Киргизии, Казахстане, России (Западная Сибирь). В Канаде с герцинским магматизмом связан ряд небольших месторождений сурьмы в провинции Квебек.

Основная масса сурьмяных месторождений образовалась в мезозойскую и кайнозойскую эпохи рудообразования. В *мезозойскую эпоху* сформировались крупнейшие в мире сурьмяные месторождения Китая и ЮАР. В Китае они генетически связаны с магматизмом и тектоническими движениями яньшанской (предпозднемеловой) фазы складчатости. Основные месторождения расположены в южных и юго-западных районах страны. Среди них наиболее крупным является месторождение Сингуаньшань. В ЮАР крупные сурьмяные месторождения сосредоточены в горном хребте Мерчисон (северо-восточная часть провинции Трансвааль). Руды комплексные, кроме антимонита содержат киноварь и самородное золото. Наиболее крупным является месторождение Гравеллот (запасы сурьмы более 100 тыс. т). Месторождения этого возраста имеются в Канаде, России (Сарылах) и некоторых других странах.

В *кайнозойскую эпоху* образовалась большая часть известных в мире сурьмяных месторождений. Они часто пространственно ассоциируются с месторождениями ртути. В Италии наиболее крупным является месторождение Перетта, на Балканах – Костайник-Крупани. Многочисленные сурьмяные месторождения сосредоточены в альпийских складчатых областях Западного полушария. В США самый крупный источник получения сурьмы – золото-сурьмяные месторождения штата Айдахо (Йеллоу-Пайн и др.). В Мексике известно около 30 сурьмяных месторождений. В Боливии они сосредоточены преимущественно в департаментах Потоси и Оруро и приурочены к Боливийскому оловянному поясу. Руды комплексные, помимо антимонита содержат золото, блеклые руды, киноварь. В Турции наиболее крупным является месторождение Эздемир (содержание Sb в рудах достигает 10–14 %), в Северной Африке – Хаммимат, Хамман Н,Байль, Сенза, Тайа, Айн-Керна и др.

***Медь*** – это металл красного цвета, обладающий хорошей ковкостью, тягучестью, электропроводностью, сплавляемостью с другими металлами, легкоплавкий (температура плавления 1083º С). Кларк меди 0,01 %. Повышенные ее содержания наблюдаются в основных породах (1,4·10-2 %), пониженные в гранитах (3·10-3 %). Коэффициент концентрации меди 200. Она представлена двумя изотопами: *65Cu и 69Cu.*

Медь – типичный халькофильный элемент и чаще всего встречается в виде сульфидов. В природных условиях она одно- и двухвалентна. Двухвалентная медь характеризуется высокой миграционной способностью в восстановительных условиях и реагирует с ионами *CO-23, SiO32-, PO43- и VO43,* образуя фосфатные, карбонатные и силикатные соединения.

При базальтовом магматизме медь концентрируется в гипербазитах, образуя ликвационные и скарновые месторождения, а на поствулканическом этапе она ассоциирует с колчеданными образованиями.

В природе известно более 240 минералов меди, из которых около 200 встречаются в коре выветривания. Однако промышленное значение имеют не более 17 минералов. Главными среди них являются: самородная медь, халькопирит, борнит, кубанит, халькозин, ковеллин, энаргит, тетраэдрит, теннантит, куприт, тенорит, малахит, азурит и др.

*Самородная медь* (содержание *Cu* до 100 %) кристаллизуется в кубической сингонии, габитус кристаллов кубический и додекаэдрический, образует дендриты, нитевидные, проволочные, моховидные агрегаты, порошковые выделения, конкреции, сплошные массы, цвет розоватый и медно-красный с бурой и пестрой побежалостью, твердость 2,5–3, удельная масса 8,4–8,9 г/см3.

*Халькопирит CuFeS2* (*Cu* 34,6 %). Известны две его модификации: тетраэдрическая и кубическая – высокотемпературная. Цвет минерала золотисто-желтый, часто с бурой побежалостью, блеск металлический, встречается в скарнах, ликвационных медно-никелевых, свинцово-цинковых, вольфрам-молибден-оловянных и колчеданных месторождениях, а также в медистых песчаниках и в месторождениях фосфоритов.

*Борнит* *Сu5FeS4* (*Сu* 63,3 %). Образует несколько полиморфных модификаций: тетрагональную – низкотемпературную, тригональную – метастабильную при низкой температуре, кубическую – стабильную выше 228º С. Габитус кристаллов кубический, додекаэдрический, реже октаэдрический, цвет темно-бронзовый с пестрой побежалостью, блеск металлический, твердость 3, удельная масса 5,3 г/см3.

*Кубанит CuFe2S3* (*Cu* 22–24 %) кристаллизуется в кубической сингонии, габитус кристаллов удлиненный, толстотаблитчатый, бронзово-желтого цвета, блеск металлический, удельная масса 4,16 г/см3. Встречается в сульфидных медно-никелевых месторождениях с пирротином и халькопиритом в колчеданных рудах, изредка в жильных и полиметаллических месторождениях.

*Халькозин Cu2S* (*Cu* 79,9 %). Известны две полиморфные модификации: ромбическая – низкотемпературная и менее распространенная гексагональная – высокотемпературная. Габитус кристаллов короткопризматический, таблитчатый, дипирамидальный, цвет свинцово-серый, твердость 2,5–3, удельная масса 5,8 г/см3. Встречается в медных месторождениях с борнитом, халькопиритом и другими сульфидами.

*Ковеллин* *CuS* (*Cu* 66,5 %), кристаллизуется в гексагональной сингонии, габитус пластинчатый, агрегаты землистые, порошковые, сажистые, цвет индигово-синий до черного с радужной побежалостью, твердость 1,5–2, удельная масса 4,6 г/см3.

*Энаргит Cu3AsS4* (*Cu* 48,3 %) кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы призматические или таблитчатые, агрегаты зернистые, цвет сероватый до железо-черного, черта серовато-черная, твердость 3,5, удельная масса 4,3–4,5 г/см3. Встречается в гидротермальных, обычно среднетемпературных медноколчеданных, меднопорфировых, пирит-энаргитовых, свинцово-цинковых, серебряно-медных и других месторождениях.

*Тетраэдрит* (по форме кристаллов) *Cu12Sb4S13* (*Cu* 52,3 %). Известны следующие его разновидности: серебросодержащая – *фрейбергит*; ртутьсодержащая – *швацит*, *аптонит*, *ртутная блеклая руда*; цинксодержащая – *зандбергерит*, *цинковая блеклая руда*; железосодержащая – *ферротетраэдрит*, *коппит*; никелисодержащая – *фригидит*, *никелевая блеклая руда*; теллурсодержащая – *голдфилдит*; свинецсодержащая – *малиновскит* и др.

*Домейкит* (назван по фамилии нашего земляка Игнасио Домейко) *Cu3As* (*Cu* 71,1 %). Известны две полиморфные модификации – кубическая и гексагональная с температурой перехода 225º С. Агрегаты плотные, почковидные и гроздьевидные, цвет серебристо-белый, серый с желтовато-бурой побежалостью, твердость 3–3,5, удельная масса 7,5 г/см3. Встречается в гидротермальных месторождениях в ассоциации с самородными медью и серебром, сульфидами меди и арсенидами никеля и кобальта.

***Металлогения и эпохи рудообразования*.** На ранней стадии геосинклинального развития в связи с базальтоидным магматизмом образовывались относительно крупные колчеданные месторождения, а в конце этой стадии в связи с плагиогранитами – скарновые и ранние месторождения меднопорфировых руд. Средняя стадия геосинклинального этапа являлась малопродуктивной для меди. На поздней стадии формировалась главная масса гидротермальных месторождений, среди которых основное значении имеют поздние меднопорфировые. В это же время возникали стратиформные месторождения медистых песчаников, пространственно тесно связанных с молассовыми отложениями.

На платформенном этапе в терригенных осадках чехла формировались месторождения медистых сланцев и песчаников, а на активизированных платформах – магматические сульфидные медно-никелевые месторождения.

Месторождения меди возникали в различные геологические эпохи и образовывались в разнообразных геологических обстановках. В докембрийскую эпоху возникли крупные месторождения стратиформных медистых песчаников на Африканской (Катанга-Родезийский медный пояс) и Сибирской (Удоканское месторождение) платформах, магматических медно-никелевых руд на Канадской, Восточно-Европейской, Сибирской и Африканской платформах. Для этих месторождений характерен комплексный состав руд, в которых наряду с медью промышленное значение имеют *Ni, Co, а также Zn, Pb, Ag, Au, Pt.*

В *раннепалеозойскую (каледонскую) эпоху* образовывались в основном медно-колчеданные месторождения в Норвегии (Сулительма, Леккен, Гронг, Фоллаль и др.), Канаде (на о. Ньюфаундленд), в России на Урале, а также в Центральном Казахстане. По масштабам оруденения это, как правило, средние или мелкие месторождения. Удельный вес их в мировых запасах и добыче незначителен.

В *позднепалеозойскую (герцинскую) эпоху* промышленное медное рудообразование наиболее интенсивно проявилось на территории СНГ. Месторождения меди этого возраста широко представлены в России на Урале, Казахстане (Коунрад) и Узбекистане (Алмалык). В дальнем зарубежье крупные месторождения известны в Испании (Рио-Тинто и Тарсис), Португалии, Германии, Польше и Китае.

*Мезозойская эпоха* ознаменовалась образованием крупных медно-никелевых месторождений на Канадской, Сибирской и Африканской платформах, а также меднопорфировых и колчеданных в складчатых областях Закавказья и Балкан.

В *кайнозойскую эпоху* образовалась значительная часть мировых ресурсов меди (более 50 %), сосредоточенных главным образом в прожилково-вкрапленных меднопорфировых рудах. Меднопорфировые месторождения отличаются крупными размерами и масштабами оруденения. Большинство ресурсов руд этого типа сосредоточено в Тихоокеанском поясе, в пределах которого особенно выделяются месторождения Чили (Чукикамата, Эль-Тениенте), Перу (Токепала), Панамы (Серра-Колорадо), США (Сан-Мануэль). В Океании наиболее крупным является месторождение Пангуна на о. Бугенвиль (Папуа-Новая Гвинея). Запасы его превышают 900 млн т руды, содержащей 0,48 % Cu и 0,04 % Mo. В СНГ крупнейшие месторождения этого возраста находятся в Армении – Каджаран и Агарак.

***Никель*** – серебристо-белый, тугоплавкий металл (температура плавления 1453º С). Он тверд, гибок, ковок, тягуч, хорошо поддается полировке, химически малоактивен. Кларк никеля в земной коре 0,0058 %. Содержание его в ультраосновных породах (1,2·10-1 %) примерно в 200 раз выше, чем в кислых (8·10-4 %). Известно пять стабильных изотопов никеля:*58Ni, 60Ni, 61Ni, 62Ni и 64Ni,* среди которых преобладает *58Ni.*

Промышленные концентрации никеля обычно ассоциируют с базит-гипербазитовыми магмами, связанными с подкоровыми очагами. Ему присущи сидерофильные и халькофильные свойства. В ультраосновных породах никель связан, как правило, с оливинами, содержащими 0,13–0,41 % *Ni,* в которых он изоморфно замещает *Fe и Mg*. При наличии в магме серы никель наряду с медью и железом, обособляется в виде сульфидов. В процессе раскристаллизации отликвировавшего сульфидного расплава возникают магматические месторождения сульфидных медно-никелевых руд.

В гидротермальном процессе совместно с кобальтом, мышьяком, серой, иногда и висмутом, ураном и серебром никель образует повышенные концентрации в виде арсенидов и сульфидов.

В экзогенных условиях никель накапливается в коре выветривания в результате выщелачивания его из серпентинитов и оливина. Переходя в раствор и при наличии избыточной *CO2* мигрирует в виде бикарбоната *Ni(HCO3)2.* Осаждение его происходит обычно в нижних горизонтах кор выветривания, где создаются условия для образования водных силикатов никеля, а также содержащих никель ферри- и алюмосиликатов.

Известно 45 минералов никеля. Главными минералами руд сульфидных месторождений являются пентландит, миллерит и никелин. *Пентландит (Fe,Ni)S* (содержание *Ni* 22–42 %). Кристаллизуется в кубической сингонии. Характерны агрегаты зернистые; пластинчатые и пламенеобразные выделения в пирротине, образующиеся в результате распада твердого раствора. Цвет бронзово-желтый, блеск металлический, твердость 3–4, удельная масса   
4,5–5 г/см3. Обычно содержит примесь кобальта (до 3 %) и палладия.

*Миллерит NiS* (*Ni* до 65 %). Кристаллизуется в тригональной сингонии. Агрегаты зернистые, радиальнолучистые, спутанно-волокнистые, корочки. Цвет латунно-желтый, блеск металлический, твердость 3–3,5, удельная масса 5,6 г/см3. Минерал встречается в жильных медно-никелевых сульфидных рудах и гидротермальных месторождениях комплексных никель-кобальт-серебряных руд.

*Никелин NiAs* (*Ni* до 44 %), кристаллизуется в гексагональной сингонии. Минерал бледного медно-красного цвета, дает буровато-черную черту, блеск металлический, образует агрегаты зернистые, почковидные со столбчатой и радиальнолучистой структурой, сетчатые и дендритовые, твердость 5–5,5, удельная масса 7,8 г/см3. Содержит примесь *Fe, S, Sb и Co*. Встречается в гидротермальных месторождениях комплексных никель- кобальт- серебряных руд.

Из других минералов необходимо отметить сернистые и мышьяковые соединения никеля и кобальта: *хлоантит* *(NiCo)As2*, *герсдорфит* *(NiCo)AsS* и *раммельсбергит* *NiAs2.*

Особенно большое практическое значение имеют силикаты никеля (гарниерит, непуит, ревдинскит и др.), развитые в корах выветривания. *Гарниерит NiO*×*SiO2*×*H2O* (содержание *NiO* 46 %), светло-зеленый гидросиликат. Образует агрегаты землистые, натечные, скрытокристаллические.

*Непуит 12NiO*×*3SiO2*×*2H2O* (*NiO* 20–46 %) – гидросиликат никеля зеленого цвета с голубоватым оттенком. Кристаллизуется в моноклинальной сингонии, габитус кристаллов пластинчатый, агрегаты чешуйчатые, пластинчатые, твердость 2–2,5, удельная масса 2,5–3,2 г/см3.

*Ревдинскит* 3*(Ni,Mg)O*×*2SiO2*×*2H2O* (*NiO* до 46 %) – зеленовато-голубой гидросиликат никеля, встречается в парагенезисе с гарниеритом и непуитом.

Месторождения никеля не характерны для геосинклинального этапа. В это время возникали лишь редкие и небольшие по размерам гидротермальные месторождения сульфидоарсенидов никеля, связанные с гранитоидами средней и поздней стадий развития геосинклиналей.

Преобладающая масса сульфидных медно-никелевых месторождений сформировалась на стадии активизации древних платформ в связи с трапповым магматизмом. Основной путь образования таких месторождений – это ликвация, обусловленная снижением растворимости сернистых соединений *Fe, Ni и Cu* в зависимости от содержания в кристаллизующейся магме *Fe, S, SiO2 и Al2O3*. Образовавшиеся в результате ликвации магмы сульфидный и силикатный расплавы в дальнейшем кристаллизовались независимо друг от друга, причем выделение силикатов опережало выделение сульфидов на 200–300º С. В зависимости от геологической и тектонической обстановки сульфиды могли оставаться на месте, образуя скопления сингенетичных руд, или проникать в трещины в теле интрузива и зоны дробления по контакту с вмещающими породами, формируя «отщепленные» тела эпигенетических медно-никелевых руд.

На щитах рудоносные массивы основных и ультраосновных пород внедрялись в зоны пересечения разрывных нарушений и в период становления подвергались стратификации. Месторождения, возникшие на краях активизированных платформ, приурочены к наиболее поздним дериватам расслоенных интрузивов основного состава. Оруденение локализуется в нижних горизонтах дифференцированных интрузий или в подстилающих породах.

Экзогенные месторождения силикатных никелевых руд, приуроченные к корам выветривания, образовывались на платформенном этапе. В зависимости от геологического строения рудоносных площадей, наличия или отсутствия карбонатных пород и особенностей строения рельефа формировались рудные залежи различной формы – плащеобразные, жилообразные и более сложные, приуроченные к карстовым полостям.

Месторождения никеля возникали в различные геологические эпохи. Главной в формировании сульфидных медно-никелевых руд являлась *докембрийская эпоха* *рудообразования.* В это время сформировалась преобладающая часть запасов Канады (район Садбери и оз. Линн, месторождения Мистери-Лейк, Моак-Лейк, Томпсон), Норвегии, Финляндии, Австралии и отдельные месторождения в России (Мончегорское). В Австралии в штате Западная Австралия выявлено более 30 месторождений сульфидных руд, приуроченных к докембрийским массивам ультрабазитов. По масштабам оруденения и добычи никеля выделяется месторождение Камбалда, доказанные запасы никеля которого составляют 1,1 млн т при среднем содержании Ni 1,5–2,0 %.

В *раннепалеозойскую эпоху рудообразования* промышленные месторождения никеля формировались в основном на северо-западе Европы. Наиболее крупным среди них является месторождение Рингерих в Норвегии.

Для *позднепалеозойской эпохи рудообразования* промышленные месторождения никеля не характерны. Встречаются гидротермальные кобальт-никелевые месторождения (Ховуаксы в Туве) и связанные с корой выветривания ультраосновных массивов (Урал).

В *мезозойскую эпоху рудообразования* образовались крупные месторождения сульфидных медно-никелевых руд в Норильском районе (Россия) и в ЮАР. В ЮАР месторождения сосредоточены в Восточном Грикваленде и связаны с основными интрузивными породами, залегающими среди осадочных свит системы Карру. По масштабам оруденения выделяется месторождение Инсизва, вкрапленные и массивные руды которого приурочены к донной части крупного силла долеритов. Силикатные никелевые руды распространены на Южном Урале, в Северо-Западном Казахстане, Бразилии и других регионах.

В *кайнозойскую эпоху рудообразования* формировались главным образом силикатные никелевые руды, приуроченные к коре выветривания массивов ультраосновных пород. Большинство месторождений этого возраста сосредоточено в Юго-Восточной Азии, Центральной и Южной Америке и Океании. Разрабатываются только те месторождения, в рудах которых содержание Ni превышает 1 %. Наиболее крупные месторождения известны на о. Новая Каледония и Кубе (провинция Ориенте), а также в Индонезии (месторождения Сороака, Памалеа и др.).

**2 Генетические типы промышленных месторождений**

Промышленные месторождения сурьмы представлены:   
1) стратиформными, 2) плутоногенными гидротермальными,   
3) вулканогенными гидротермальными генетическими типами.

*Стратиформные месторождения* известны в Киргизии (Кадамжай), Китае (Сингуаньшань), Болгарии (Рыбново), Мексике (Сан-Хозе), Италии (Перетта). Они формировались в миогеосинклинальных зонах и на платформах. Рудные тела обычно пластообразные или линзовидные, залегают согласно со смятыми в складки вмещающими породами. Они локализуются в брекчированных и окварцованных породах (роговиках) на контакте малопроницаемых сланцев в висячем боку и известняков в лежачем. Вмещающие породы обычно пересечены крутопадающими разрывными нарушениями. Рудные залежи простираются от сотен метров до нескольких километров, прослеживаясь по падению до 1000 м при мощности от 1–3 до 40–50 м. В составе руд преобладают кварц и антимонит. В некоторых случаях из жильных минералов широко распространены флюорит, карбонаты, а из рудных – киноварь.

*Плутоногенные гидротермальные месторождения* представлены двумя рудными формациями: 1) *кварц-антимонитовой* и 2) *комплексных руд*, содержащих *Sb, As, Ag, Au, W, Cu, Pb и Zn.*

*Месторождения кварц-антимонитовой формации* известны в России в Красноярском крае (Удерейское, Раздольнинское) и в Республике Саха (Сарылах), ЮАР (Гравеллот), Турции (Эздемир), Таиланде (Ратбури), Австралии (Блю-Спек), Боливии (Чилкобия) и других странах. Они пространственно связаны с породами алюмосиликатного состава – песчаниками, глинистыми сланцами и гнейсами. Приурочены, как правило, к разломам, зонам дробления и брекчирования. Форма рудных тел жильная. Отдельные жилы прослеживаются в длину и на глубину до 300–500 м. Мощность их варьирует от 0,1 до 5–6 м (в раздувах до 20 м). Богатые руды содержат от 2–3 до 40 % Sb (в среднем 10 %), минеральный состав относительно простой: главный рудный минерал: антимонит; второстепенные – бертьерит, гудмундит, пирит и арсенопирит.

*Месторождения формации комплексных руд* известны в Китае (Воси, Сиань), России (Барун-Шивея в Забайкалье), США (Саншайн), в странах Среднеазиатского региона (Сары-Булак и др.). Это, как правило, месторождения среднего и небольшого масштаба. Рудовмещающие породы представлены терригенными и карбонатными отложениями, реже гранитоидами. Месторождения контролируются складчатыми структурами, разломами и трещеноватыми зонами. Форма рудных тел преимущественно жильная, штокверковая, реже трубообразная и линзовидная. По простиранию они прослеживаются на десятки – первые сотни метров, по падению до 200–300 м при мощности 0,1–3,0 м.

Минеральный состав руд достаточно сложный: главный рудный минерал – антимонит; второстепенные – гудмундит, бертьерит, пирит, арсенопирит, шеелит, ферберит, халькопирит, галенит, сфалерит, самородная сурьма, буланжерит, джемсонит.

*Вулканогенные гидротермальные месторождения* распространены в Турции (Текгер, Дере), Румынии (Бая-Маре, Бая-Спрые), Алжире (Хаммимат), США (Иеллоу-Пайн). Они сосредоточены в областях молодого и современного вулканизма. Обычно приурочены к породам жерловой и субвулканической фаций, иногда известны среди карбонатно-глинистых отложений. Рудовмещающие структуры – некки, кольцевые и радиальные трещины, зоны дробления. Рудные тела представлены жилами, трубами, штокверками. Размеры их небольшие – от 20–30 до 200–250 м при мощности 0,1–10 м. Руды сурьмяные и комплексные – мышьяково-сурьмяные, сурьмяно-серебряные и сурьмяно-оловянные. Главный рудный минерал – антимонит, реже встречаются надорит, сервантит, ливингстонит, блеклые руды, галенит и сфалерит.

***Медь концентрируется в месторождениях всех известных генетических групп,*** за исключением пегматитовой. Промышленное значение имеют месторождения: 1) магматические, 2) карбонатитовые, 3) скарновые,   
4) плутоногенные гидротермальные, 5) вулканогенные гидротермальные,   
6) колчеданные, 7) стратиформные.

*Магматические месторождения*. В этой группе важное экономическое значение имеют *ликвационные месторождения сульфидных медно-никелевых руд*, пространственно и генетически тесно связанных с интрузивами основного и ультраосновного состава (габбро, нориты, пироксениты, перидотиты, оливиновые диабазы и др.), расположенными в фундаменте докембрийских щитов или в осадочно-эффузивных толщах платформенных чехлов. Медь накапливается к концу процесса рудообразования в связи с выделением халькопирита, борнита, миллерита. Больше других обогащены минералами меди экзоконтактовые зоны интрузий. Минеральный состав руд сульфидных медно-никелевых формаций достаточно сложный. Преобладают пирротин, пентландит, халькопирит и талнахит, подчиненное значение имеют миллерит, пирит (обычно кобальтсодержащий), магнетит, кубанит, арсениды кобальта и никеля, минералы группы платины (сперрилит, куперит, стибиопалладинит, палладистая платина), золото и др. Из этих руд извлекаются, помимо меди (содержание 1–2 % и более) и никеля, также кобальт, золото, платиноиды и рассеянные элементы. Месторождения этого типа охарактеризованы в лекции 6 «Месторождения никеля».

Наряду с медно-никелевыми к магматическим относятся также *медно-титановые* *месторождения*, ассоциирующие с массивами габбро.

*Карбонатитовые месторождения*. Халькопирит и другие медные минералы в небольшом количестве наблюдаются в рудах многих карбонатитов, но промышленные скопления их известны только в массиве *Палабор* в северо-восточном Трансваале (ЮАР).

*Скарновые (контактово-метасоматические) месторождения* меди распространены достаточно широко. Однако крупные рудные объекты встречаются редко. Они образуются метасоматическим путем при взаимодействии восходящих высокотемпературных растворов с карбонатными и контактирующими с ними силикатными породами. Рудные тела обычно располагаются в контактах карбонатных и силикатных пород, причем силикатные породы часто представлены эффузивами. Минералы меди выделяются в несколько стадий: в раннюю – вместе с магнетитом, в позднюю – наряду с сульфидами и в завершающую – преимущественно с галенитом и сфалеритом. Рудные тела, как правило, не имеют четких границ; последние устанавливаются по данным опробования.

Главными рудными минералами являются халькопирит, пирротин, пирит и магнетит; нерудные – представлены гранатом, пироксеном, эпидотом, хлоритом, кварцем и карбонатами. Содержание меди обычно высокое (3–10 %), но неравномерное.

К скарновому типу относятся месторождения в России на Урале (Турьинская группа), в Западной Сибири (Юлия, Антоновское, Глафиринское), в Казахстане (Саяк I), США (Моренси, Бисби, Клифтон), Мексике (Долорес) и др.

*Плутоногенные гидротермальные месторождения*. Они связаны обычно с гипабиссальными порфировыми интрузиями умеренно-кислого состава, реже с гранитоидами. Среди них выделяют медно-порфировые и жильные.

*Медно-порфировые месторождения* представляют крупные скопления небогатых медных или молибден-медных руд штокверкового типа в порфировых интрузиях. Они приурочены, как правило, к участкам пересечения разломов, флексурам, антиклиналям и вулкано-купольным структурам. Рудные тела – это чаще всего штокверки овальной или кольцевой формы в плане, цилиндрической или конической в разрезе. Штокверки имеют длину 2–3 км при ширине 0,7–1,5 км. Вертикальный размах оруденения 300–500 м и более. Руды представлены тонкой сетью кварцевых и кварц-полевошпатовых прожилков мощностью от долей миллиметра до первых сантиметров, содержащих сульфиды, которые образуют также вкрапленность и небольшие гнезда.

Главные минералы первичных руд: халькопирит и пирит; второстепенные – молибденит, борнит, энаргит, халькозин, блеклые руды, галенит, сфалерит и др. Среднее содержание меди в первичных рудах относительно невысокое – 0,2–0,7 %, в зоне вторичного обогащения увеличивается до 1–1,5 %. Попутно извлекаются молибден (0,005–1,05 %), *Se, Te* и *Re.*

Медно-порфировые месторождения известны во многих странах: Чили, Перу, Мексике, США, Филиппинах, Болгарии, Армении, Казахстане, России и др. Выделяются три планетарных пояса распространения медно-порфировых руд: 1) – Тихоокеанский (Чили, Перу, Мексика, США, Канада) – мезо-кайнозойский; 2) Средиземноморский – кайнозойский, совпадающий с областью альпийской складчатости (Сербия, Болгария, Армения, Турция, Иран, Афганистан, Пакистан, северная часть Индии); 3) Казахстанско-Монгольский – герцинского и частично каледонского возраста (Казахстан, Узбекистан, Россия (Тува), Монголия и Китай).

В настоящее время основные объемы рудничного производства меди в мире связаны с медно-порфировыми рудами. Наиболее значительные ресурсы и запасы руд этого типа сосредоточены в Чили, где известен ряд уникальных и крупных месторождений: Чукикамата, Эль-Абра и др. Для этих месторождений характерна связь их с порфировыми породами (диоритовые, гранодиоритовые, монцонитовые порфиры). Рудоносные штокверки сформировались в измененных порфирах и в интрудированных ими породах. На большинстве месторождений развиты трубообразные тела брекчий. Главными рудными минералами являются халькопирит, борнит и халькозин, второстепенными – молибденит и энаргит. Наибольшую промышленную ценность представляют руды зоны окисления и ковеллин-халькозин-борнитовые руды вторичного сульфидного обогащения.

*Жильные месторождения* распространены довольно широко, но крупные объекты встречаются редко. Они известны в Казахстане (Жайсанское, Чатыркульское), Болгарии (Росен, Вырли Бряг), США (Магма, Бьютт) и в других странах. Вмещающими породами являются гранитоиды, реже вулканогенные, осадочные и метаморфические породы. Оруденение приурочено, как правило, к трещинам скола. Рудные жилы, обычно крупные, прослеживаются в длину на сотни метров – первые километры, мощность их варьирует от 0,3 до 10 м и более. Главные рудные минералы: халькопирит и энаргит, второстепенные – магнетит, гематит, пирит, халькозин, борнит, молибденит. Руды формировались в несколько стадий. Близ земной поверхности они часто окислены.

*Вулканогенные гидротермальные месторождения.* К этой группе относятся месторождения самородной меди в эффузивах и субвулканических образованиях. Они известны в США, Дании (Фарерские острова), Иране (Мескани, Талмеси, Даман-Джала), России (на Урале и Кольском полуострове). Характерными особенностями этого типа месторождений являются: 1) приуроченность их к вулканогенным толщам (базальтам и антезито-базальтам, осложненным разрывными нарушениями; 2) преимущественно пластообразная форма рудных тел; 3) простой минеральный состав руд – самородная медь в ассоциации с хлоритом, эпидотом, серицитом, цоизитом, кварцем, кальцитом, датолитом, реже халькозином.

*Колчеданные месторождения*. Это, как правило, среднетемпературные образования малых глубин. Они формируются на ранних этапах развития геосинклинальных складчатых областей и залегают обычно среди вулканогенных образований, реже в других породах. Месторождения пространственно связаны с малыми субвулканическими интрузиями кварцевых порфиров, гранодиорит-порфиров, дацитов и диабазов, которые в свою очередь, располагаются вдоль протяженных глубинных разломов. Промышленное оруденение контролируется брахиантиклинальными складками, разбитыми разрывами и развивается в благоприятных для метасоматического замещения толщах порфиритов, брекчий кератофиров и других пород, находящихся под экранами непроницаемых для растворения горизонтов (туффитов, силлов альбитофиров и др.).

Руды сложены преимущественно пиритом либо мельниковитом, суммарное содержание которых достигает 80–90 % от всей рудной массы. Из других сульфидов развиты халькопирит, сфалерит либо вюртцит, пирротин, реже борнит, блеклые руды, галенит, гематит, самородное золото и серебро. Руды содержат до 40 % *S*, 3–5 % *Cu* и 2–4 % *Zn*.

На большинстве медно-колчеданных месторождений отчетливо проявились процессы гипергенеза, обусловившие вертикальную зональность (сверху вниз): 1) зона гидрооксидов железа (железная шляпа), прослеживающаяся на глубину 10–15 м, иногда до 30–40 м; 2) кварц-боритовая сыпучка (2–3 м); 3) пиритовая сыпучка (1–3 м); 4) зона вторичного сульфидного обогащения (50–100 м и более); 5) зона неизменных первичных руд.

Медно- и медно-цинково-колчеданные месторождения широко распространены в СНГ (Алтай, Салаирский кряж, Тува, Казахстан, Киргизия). Классическим примером развития медно-колчеданных месторождений является Урал (уральский тип), где они наблюдаются на всем протяжении от Северного до Южного Урала включительно. В странах дальнего зарубежья месторождения этого типа известны в Испании (Рио-Тинто), Турции (Эргани-Маден), Болгарии (Радка), Норвегии (Леккон), Швеции (Болиден), Канаде (Кидд-Крик), США (Юнайтед Верде), Японии, Китае.

*Стратиформные месторождения* представляют собой важный промышленный тип, концентрирующий значительные запасы медных руд. Они сформировались на заключительных стадиях геосинклинального режима и в платформенных условиях. Основными характерными особенностями стратиформных месторождений являются: 1) приуроченность к пестроцветным формациям складчатых областей и платформ; 2) развитие их в областях, где выходы кислых изверженных пород отсутствуют; 3) преимущественная приуроченность оруденения к синклинальным прогибам, нередко осложненным антиклинальными поднятиями; 4) развитие оруденения в пластах с повышенными коллекторскими свойствами (пористость, трещиноватость, кавернозность); 5) повышенное содержание в породах органического вещества; 6) преобладание пластовых рудных тел; 7) резкое доминирование рудных минералов над жильными; 8) незначительная роль в парагенезисе пирита при основном развитии халькозина, борнита, а в некоторых месторождениях халькопирита с примесью галенита, сфалерита, реже линнеита.

Месторождения этого типа формировались во все эпохи рудообразования – от докембрийской до кайнозойской включительно, но наиболее продуктивными являлись докембрийская и позднепалеозойская. Мощность рудных залежей колеблется от десятков сантиметров до первых десятков метров. Они, как правило, выдержаны по площади и прослеживаются на многие километры. Кроме меди, в рудах содержатся попутные компоненты: *Pb, Zn, Ag, иногда Co и U.* Вмещающие породы изменены слабо, обычно карбонатизированы и окварцованы. Стратиформные месторождения известны в Казахстане (Джезказганское), России (Удоканское), Заире (Комото, Мусоши), Замбии (Чамбиши, Нчанга, Роан-Антилоп), Афганистане (Айнак), Германии (Мансфельд) и других странах.

***Рудопроявления в Беларуси*.** Основное количество проявлений меди связано с породами кристаллического фундамента, среди которых выделяются три типа: *колчеданные, молибден*-*медные и медно-никелевые*. *Колчеданные проявления* являются наиболее распространенными. Известен ряд рудопроявлений этого типа: *Рудьма* (Кореличский район Гродненской области), *Рубежевичи*, *Деревное* (Столбцовский район Минской области), *Ельня* (Мостовский район Гродненской области). По соотношению полезных компонентов и главных рудных минералов среди них различают медно-колчеданные и медно-свинцово-цинковые. Главными минералами в них являются пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит и галенит. Эти минералы чаще всего образуют прожилково-вкрапленные зоны минерализации мощностью от нескольких сантиметров до 10–20 м в измененных и катаклазированных вмещающих породах. Содержание полезных компонентов в наиболее оруденелых интервалах неустойчиво и достигает: Cu 0,1–4,9 %, Pb 0,05–1,0 %, цинка 0,03–6,0 %.

*Молибден-медные проявления* тесно связаны с гранитоидами. Известны два проявления этого типа – *Шнипки* и *Лашевичи* (оба в Гродненской области). Главные рудные минералы – пирит, марказит, халькопирит, борнит, халькозин и молибденит. Содержание пирита достигает 50 %, халькопирита – 20 %, других сульфидов – 1–3 %.

*Медно-никелевые проявления* развиты в пределах Смолевичско-Дрогичинской зоны. Медные минералы (халькопирит и кубанит) образуют тонкую вкрапленность. Содержание меди в минерализованных зонах небольшое и лишь изредка достигает 0,2–0,8 %.

В отложениях платформенного чехла проявления меди представлены зонами и точками минерализации. Они встречаются в туфогенных образованиях волынской серии венда в виде карбонатных корочек и жилок мощностью до 3–5 мм, содержащих редкую вкрапленность пирита, халькопирита и халькозина. Максимальное содержание меди в этих минерализованных зонах достигает 0,12 %. Аномальные концентрации меди (до 0,1–0,4 %) отмечаются в красноцветных отложениях пермо-триаса в пределах западной части Припятского прогиба.

***Важнейшими типами промышленных месторождений никеля являются***: 1) магматические, 2) плутоногенные гидротермальные, 3) коры выветривания.

*Магматические месторождения* сульфидных медно-никелевых руд известны в России – в Красноярском крае (Норильск-1, Октябрьское, Талнахское), на Кольском полуострове (Печенга, Аллареченское), в Швеции (Клева), Финляндии (Пори), Канаде (Садбери, Томпсон и др.), США (Стиллуотер), ЮАР (Бушвельд, Инсизва) и Австралии. Все они связаны с дифференцированными базит-гипербазитовыми массивами.

Рудные тела размещаются внутри, по периферии в придонной части и вблизи материнских интрузивов. Наиболее характерны: 1) пластообразные висячие залежи вкрапленных руд; 2) пластообразные и линзовидные донные залежи массивных «шлировых» и прожилково-вкрапленных руд; 3) линзы и неправильные тела приконтактных брикчеевых руд; 4) жилообразные и жильные тела массивных руд. Размеры рудных тел варьируют от первых сотен метров до 1,0–1,5 км по простиранию и от нескольких сотен до 800–1000 м по падению при мощности от 1–3 до 50 м и более. Минеральный состав руд достаточно хорошо выдержан. Главные рудные минералы: пирротин, халькопирит, пентландит, второстепенные – магнетит, пирит, кубанит, борнит, полидимит, никелин, миллерит, спериллит, виоларит и куперит.

*Плутоногенные гидротермальные месторождения*. К этому типу относятся жильные месторождения никель-кобальтовых арсенидов, нередко с серебром и висмутом. Они возникают в условиях низких и средних температур. Месторождения этого генетического типа известны в России (Ховуаксы в Туве), Марокко (Бу-Аззер), Канаде (Эльдорадо, Кобальт), Германии (Рудные горы), Финляндии и Киргизии. Рудные тела обычно представлены жилами и жилообразными залежами, которые прослеживаются на десятки – первые сотни метров по простиранию и на столько же по падению. Мощность их варьирует от 0,1 до 1,0 м и более, и в среднем составляет 0,4–0,5 м. Главные рудные минералы: никелин, смальтин, хлоантит, скуттерудит, саффлорит. Месторождения различаются по составу руд и условиям образования. Наиболее характерны следующие рудные формации: 1) арсенопирит-глаукодот-кобальтиновая (месторождение Бу-Аззер); 2) смальтин-хлоантит-никелиновая (Ховуаксы); 3) смальтин-хлоантит-аргентитовая (Кобальт); 4) пятиэлементная формация (*Ni–Co–Ag–Bi–U*) (Эльдорадо). Этот генетический тип месторождений играет резко подчиненную роль по запасам и добыче никеля.

*Месторождения коры выветривания*. Никеленосные латеритные коры образуются в условиях тропического климата при выветривании основных и ультраосновных пород. Происходит разрушение оливина и серпентина, в которых изоморфно с магнием находится никель. Никель высвобождался и перемещался, часто совместно с кобальтом, из верхних горизонтов коры выветривания в нижние. Здесь в связи с изменением щелочности растворов образовывались вторичные никельсодержащие минералы – гарниерит, непуит, ревденскит, нонтронит и др.

По форме рудных тел различают следующие промышленные типы: 1) плащеобразные или площадного типа; 2) линейно вытянутые или трещинные; 3) контактово-карстовые.

*Месторождения площадного типа* широко распространены на Кубе, в Бразилии, Индонезии, Филиппинах, а также в России. Руда состоит из смеси гидрооксидов железа и алюминия, глинистого материала с примесью *Ni, Cr, Co и Mn.* Мощность рудных зон колеблется от 3–8 до 25–30 м, площадь измеряется несколькими квадратными километрами. Содержание *Fe* составляет 30 %, *Ni* – от следов до 2,3 %, *Co* – от следов до 1,7–2 %. Отношение *Ni/Co* в рудах 10.

*Линейно вытянутые или трещинные месторождения* контролируются линиями относительно крупных разрывных нарушений и зонами повышенной трещиноватости, прослеживающимися в серпентинитах. Вдоль этих зон происходило интенсивное выветривание, проникавшее на большую глубину. Из циркулировавших по трещинам растворов отлагались растворенные в них вещества. Возникали охристо-кремнистые образования. Продукты выветривания часто располагались симметрично с зонами охр в центре. В составе этих зон наблюдаются «рудные», или «сетчатые», брекчии, а также каолинизированные и ожелезненные серпентиниты, содержащие гидросиликаты никеля. Руды довольно богатые. Месторождения этого типа широко распространены в Новой Каледонии, имеются в Греции и России (Рогоженское, Бурыктальское, Аккермановское и др.).

*Месторождения контактово-карстового типа* приурочены к тектоническим контактам серпентинитов с известняками. Последние под действием воды легко выщелачиваются с образованием карстовых пустот, которые заполняются глинистыми продуктами выветривания серпентинита, сланцев и других пород. Силикаты никеля осаждаются в глинах карста, образуя налеты, натеки и прожилки.

***Рудопроявления в Беларуси*.** Медно-никелевые проявления, как правило, контролируются небольшими интрузиями ультраосновных – основных пород, развитых в пределах Смолевичско-Дрогичинской зоны Белорусского кристаллического массива и его южных склонов. Среди них выделяется одно *рудопроявление – Столбцовское*, расположенное в Минской области близ д. Стецки. Металлоносным является одноименный массив основных – ультраосновных пород русиновского комплекса, сложенный габбро, оливиновыми габбро и анортозитами, в верхней части преобразованными в сланцы хлорит-тремолит-актинолитового состава. Главными рудными минералами являются халькопирит и пирротин, второстепенными – пентландит, кубанит. Эти минералы присутствуют в виде тонкой рассеянной вкрапленности или нитевидных прожилков. Содержание их в породах обычно не превышает первых процентов, а мощность рудоносных зон колеблется от десятков сантиметров до 1–4 м. Концентрация меди в минерализованных зонах достигает 0,2–0,8 %, а никеля – 0,2–0,5 %. Прогнозные ресурсы никеля по категории P3 оцениваются в 67 тыс. т. Поисковыми работами, проведенными в последнее десятилетие в пределах Столбцовского интрузива, богатых рудных зон с промышленными коцентрациями Cu и Ni не выявлено.

**Раздел 12** **Редкие и малые металлы**

**12.1 Олово, вольфрам и молибден**

1. Геохимия, минералогия и металлогения

2. Генетические типы промышленных месторождений

**1. Геохимия, минералогия и металлогения**

***Олово*** – серебристо-белый металл, имеющий температуру плавления 231,9° С и высокую температуру кипения 2270° С, очень мягкий, ковкий, химически устойчив по отношению к воде, кислороду и органическим кислотам. Блестящее олово устойчиво лишь при температуре выше – 13,2° С. При более низких температурах оно переходит в свою темно-серую модификацию, при этом теряет металлические свойства и превращается в порошок. Этот процесс («оловянная чума») особенно интенсивно протекает при температуре – 33° С.

***Олово*** – достаточно распространенный в земной коре элемент, кларк его по А. П. Виноградову составляет 2,5⋅10-4 %. Повышенные концентрации характерны для кислых гранитов, грейзенов, пегматитов, для терригенных песчано-сланцевых пород. Основными минералами-концентраторами Sn служат акцессорный касситерит и биотит. Известно десять стабильных изотопов олова с массовыми числами 112, 114–120, 122 и 124, среди которых преобладают *116Sn, 118Sn и 120Sn.*

Олово – элемент с двойственной геохимической природой, преимущественно литофильный и отчасти халькофильный, в зависимости от режима кислорода и серы. В результате у него повышенное химическое сродство, с одной стороны, к кислороду и частично к кремнию, а с другой – к сере. В эндогенных условиях олово образует высоколетучие галоидные соединения, в форме которых оно обычно выносится из магматического очага. В гипергенных условиях касситерит устойчив и может образовывать россыпи, в то время как сульфостаннаты олова окисляются и замещаются колломорфным касситеритом.

В природе известно около 20 минералов олова. Основное промышленное значение в составе оловянных руд имеют *касситерит, станнин, тиллит и франкеит.*

*Станнин* *Cu2FeSnS4* (содержание *Sn* 27,5 %) кристаллизуется в тетрагональной сингонии, агрегаты обычно зернистые, цвет оливково-серый, блеск металлический, твердость 3–4, удельная масса – 4,5 г/см3. Встречается гораздо реже касситерита, наблюдается в парагенезисе с галенитом, сфалеритом, халькопиритом, игольчатым касситеритом, различными сульфосолями. При выветривании за счет станнина после ряда промежуточных стадий образуется супергенный касситерит в виде порошковатых и землистых агрегатов.

*Тиллит PbSnS3* (*Sn* 30,4 %) кристаллизуется в ромбической сингонии, габитус кристаллов таблитчатый, агрегаты листоватые, цвет светло-серый, блеск металлический, твердость 2, удельная масса 6,4 г/см3. Встречается в серебро-оловянных и сульфидно-касситеритовых месторождениях малых глубин.

*Франкеит Pb5Sn3Sb2S14* (*Sn* 17 %) кристаллизуется в моноклинальной сингонии, кристаллы тонкотаблитчатые, агрегаты розетковидные и сферические. Цвет и черта серовато-черные, блеск металлический, твердость 1–2, удельная масса 5,9–6,0 г/см3. Встречается в гидротермальных свинцово-цинковых, оловянных и серебро-оловянных месторождениях малых и средних глубин.

***Металлогения и эпохи рудообразования*.** Эндогенные месторождения олова формировались на средней и поздней стадиях геосинклинального этапа и связаны с кислыми и умеренно-кислыми магмами. Оловоносные районы разведаны также на щитах и древних платформах, окаймленных складчатыми поясами. Особенно продуктивны по олову древние активизированные щиты и платформы Гондваны.

Оловоносные гранитные массивы и отдельные рудные поля оловянных месторождений контролируются в основном шарнирами крупных антиклинальных сооружений и участками изгиба осей складок, осложненных глубинными разломами, особенно в местах их пересечения и изгибов.

Месторождения олова, также как и месторождения большинства других металлов, образовывались в различные эпохи, причем наблюдается закономерное увеличение числа месторождений и количества запасов от древних эпох к молодым.

В *докембрийскую эпоху* формировались месторождения олова Карелии, а также в Африке и Австралии. Это преимущественно оловоносные пегматиты и грейзены, а также контактово-метасоматические месторождения. Самый крупный район развития докембрийского оловянного оруденения расположен в Заире. Здесь находится месторождение Маноно-Китотоло (среднее содержание *Sn* в руде 0,1–0,13 %, главный рудный минерал торолит). В Австралии с оловоносными пегматитами связано месторождение Вуджина.

Месторождения олова нехарактерны для *раннепалеозойской (каледонской) эпохи* и редко встречаются в породах этого возраста. Промышленная оловононосность, связанная преимущественно с гранитами, известна в России (Дальний Восток), Китае, США (штат Северная Королина) и Нигерии.

*Позднепалеозойская (герцинская) эпоха.* Промышленные месторождения олова этого возраста также не имеют большого экономического значения, но встречаются более часто, чем раннепалеозойские. В Австралии выявлены месторождения олова в восточной зоне герцинид, протягивающейся через весь континент до о. Тасмания. Наиболее крупным является месторождение Эйберфойл (содержание в руде *Sn* 0,6 % и *W* 0,7 %). Небольшие месторождения олова имеются в Великобритании, Португалии и Испании. Относительно крупные месторождения разрабатываются в Германии (Альтенберг) и Чехии (Циновец).

В *мезозойскую эпоху* сформировалась преобладающая часть мировых ресурсов олова, сосредоточенных в Малаккской оловоносной провинции Юго-Восточной Азии. Все коренные месторождения олова генетически связаны с мезозойскими порфировидными биотит-мусковитовыми гранитами. Здесь самое крупное месторождение Сангей-Лембанг. В России большинство месторождений олова этого возраста сосредоточено в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. Месторождения олова широко распространены на юго-востоке Китая. Образование их тесно связано с интрузиями яньшаньских гранитов. Из разнообразных типов оловянного оруденения наибольший практический интерес представляют касситерит-сульфидные руды.

Преобладающая часть мировых ресурсов олова заключена в месторождениях, образовавшихся в *кайнозойскую эпоху*. Это в основном россыпные месторождения. Среди них по своим масштабам и запасам выделяются богатейшие россыпные месторождения Малаккской оловоносной провинции. Россыпи, содержащие касситерит, разрабатываются также в Нигерии, Заире, Австралии и других странах. Крупные коренные месторождения третичного возраста сосредоточены в Южно-Американской оловоносной провинции. Особенно большими запасами олова располагает Боливия. Здесь полоса распространения месторождений приурочена к Боливийским Андам. По особенностям геологического строения и характеру оруденения в Боливии выделяются два района: Северный (Кордильера-Реаль) и Южный.

***Вольфрам*** представляет собой металл серебристо-стального цвета, тугоплавкий, химически стойкий. При температуре 1600º С он ковок и способен вытягиваться в тончайшую нить.

Кларк вольфрама 1,3·10-4 %, коэффициент его концентрации 5000. Величина кларка для различных магматических пород изменяется несущественно: несколько снижается в ультраосновных (1·10-5 %) и незначительно повышается в кислых (1,5·10-4 %) породах. Известно пять стабильных изотопов вольфрама: *180W, 182W, 183W, 184W, и 186W*. В природных условиях он встречается в 4- и 6-валентных соединениях.

Вольфрам генетически связан с гранитоидами, характеризующимися перенасыщенностью глиноземом, высокой кислотностью и повышенным содержанием олова и фтора. Он легко образует летучие соединения с фтором, хлором, бором и накапливается в продуктах остаточной кристаллизации гранитных магм. В начальные стадии рудного процесса вольфрам выносится в виде галоидов, а затем в форме силикато-вольфрамитов типа *SiO2×12WO3×8KOH×10H2O.* Осаждение из них вольфрамовых минералов начинается при температуре 350–400º С.

В экзогенных условиях минералы вольфрама относительно устойчивы и способны образовывать россыпи. В процессе осадкообразования концентрация вольфрама происходит в морских терригенных, реже карбонатных отложениях, обогащенными Fe, Mn и углистым веществом.

Известно около 20 вольфрамовых минералов, но основное промышленное значение имеют вольфрамит, гюбнерит, ферберит и шеелит.

*Вольфрамит (Mn, Fe)WO4* (содержание *WO3* – 76,5 %) кристаллизуется в моноклинальной сингонии, кристаллы от коротко- до длиннопризматических и игольчатых, таблитчатые, изометричные.

*Гюбнерит MnWO4* (*WO3* – 76,6 %) (по фамилии немецкого горного инженера А. Гюбнера). Минерал представляет крайний марганцевый член изоморфного ряда вольфрамита.

*Ферберит FeWO4* (*WO3* – 76,3 %) (по фамилии естествоиспытателя Р. Фербера), крайний член изоморфного ряда вольфрамита.

*Шеелит СaWO4* (*WO3* 80,6 %) (по фамилии шведского химика К. Шееле) кристаллизуется в тетрагональной сингонии, кристаллы пирамидальные, почти изометричные, редко таблитчатые, агрегаты зернистые, цвет белый, бледно-желтый до коричневатого, блеск стеклянный до алмазного, твердость 4,5–5, удельная масса 6,1 г/см3. В катодных лучах минерал люминесцирует ярким голубовато-белым светом.

В зоне окисления образуются: *тунгстит* *H2WO4*, *гидротунгстит* *H2WO4×H2O*, *ферритунгстит* *Fe2O3×WO3×6H2O* и некоторые другие вольфрамсодержащие минералы. Они встречаются обычно в виде землистых масс желто-бурого, светло-желтого, реже желтовато-зеленого цвета. Эти минералы являются лишь поисковым признаком наличия первичных вольфрамовых руд.

***Металлогения и эпохи рудообразования*.** Эндогенные вольфрамовые месторождения формировались преимущественно на поздней стадии развития геосинклиналей, а также в связи с магматической активизацией платформ. Вольфрамовые поля и месторождения размещаются как в краевых частях складчатых областей, примыкающим к массивам, так и в периферических зонах самих массивов. Особенно широко они развиты в активизированных областях. Здесь известны месторождения на активизированных щитах (Бразильском, Австралийском и др.), в послепротерозойских складчатых областях (Хингано-Охотской, Центрально-Французской и др.), а также на активизированных платформах (месторождения, сформировавшиеся в эпоху позднеюрской активизации Китайской платформы). Месторождения вольфрама тесно связаны с интрузивными породами гранитного ряда, характеризующимися гипабиссальными условиями образования, небольшими размерами и многофазностью становления. Глубины формирования вольфрамового оруденения 1200–1700 м, вертикальный размах его составляет обычно первые сотни метров и только для среднетемпературных вольфрамит-сульфидных месторождений достигает 500 м и более.

Экзогенные месторождения чаще всего представлены континентальными россыпями вольфрамовых минералов, которые формировались на платформенном этапе.

В истории геологического развития земной коры масштабы вольфрамового оруденения и количество месторождений увеличивались от древних металлогенических эпох к молодым. В *докембрийскую эпоху* сформировались небольшие пегматитовые месторождения в Австралии, Юго-Западной Африке, США и отдельные скарновые месторождения в Бразилии (Брежу) и Швеции (Игохеллен).

*Раннепалеозойская эпоха* также была малопродуктивной для образования крупных промышленных вольфрамовых месторождений. Одним из наиболее известных является гидротермальное месторождение Богуты в Казахстане. В США разведано месторождение Квин, связанное с вольфрамоносными кварцевыми жилами. В Австрии разрабатывается месторождение Миттерзилль с запасами 20 тыс. т и средним содержанием *WO3* в руде 0,65 %.

В *позднепалеозойскую эпоху* возникли крупные скарновые, грейзеновые и гидротермальные месторождения в различных регионах мира. Наиболее известными среди них являются: Кинг-Айленд в Австралии (оруденение приурочено к толще гнейсов); Панаскуейра в Португалии; Лос Кондорес в Аргентине; Акчатау и Караоба в Казахстане.

*Мезозойская эпоха* ознаменовалась образованием достаточно большого количества вольфрамовых месторождений. Значительное количество их сосредоточено в Малаккской вольфрам-оловянной провинции. Крупные ресурсы вольфрамовых руд имеются в Китае, где они связаны в основном с интрузиями яньшаньских гранитоидов. На Корейском полуострове по масштабам оруденения выделяется месторождение Санг-Донг, расположенное близ Сеула. В Канаде находятся крупные месторождения Флэт-Ривер и Мак-Миллан-Тангстен, в России – Тырныаузское на Северном Кавказе и ряд месторождений в Приморском крае и Забайкалье.

В *кайнозойскую эпоху* образовалось значительное количество коренных и россыпных месторождений. Многие из них парагенетически связаны с оловянными рудами. Оловянно-вольфрамовые руды широко распространены в Боливии в пределах Северного района. Здесь наиболее крупными являются месторождения Акцессион, Пакуни и Тасна. В США уникальный тип вольфрамовой минерализации выявлен в месторождении оз. Сёрлс в штате Калифорния (вольфрам содержится в рассоле). Следует отметить также крупное олово-вольфрамо-бериллиевое месторождение Лост-Ривер на Аляске. В кайнозойскую эпоху рудообразования возникли многочисленные, но сравнительно небольшие по запасам месторождения в Японии (Акенобе, Инуко и др.), России (на Чукотке, в Забайкалье), Аргентине, Австралии, Нигерии и других странах.

***Молибден*** – серебристо-белый металл, очень похожий по своим свойствам на вольфрам. Он тугоплавок (температура кипения 2620º С), прочен, ковок, тягуч. Кларк молибдена 1,1·10-4 %. В земной коре молибден распределен относительно равномерно. Меньше всего его содержится в ультраосновных породах (0,4–0,5 г/т), больше в гранитах (1–1,5 г/т). Содержание молибдена в морской воде колеблется от 8,9 до 12,2 мг/л. Наиболее высокие концентрации его в породах связаны с акцессорными минералами (магнетит, ильменит, сфен). Известно семь стабильных изотопов молибдена с массовыми числами 92, 94–98, 100, среди которых преобладает *98Mo.* Этот металл обладает двумя валентностями: 4-х валентный в эндогенных условиях и 6-валентный в экзогенных.

В эндогенных условиях молибден переносится в виде комплексных соединений – гетерополикремниевых кислот типа *SiO2×12MoO3×nNa2O×H2O.* При понижении температуры и давления этот комплекс разрушается, а при наличии сероводорода происходит диссоциация последнего с образованием молибденита. В первичных рудах молибденит встречается в ассоциации с вольфрамитом и висмутином, с минералами меди, а также с галенитом, сфалеритом. В экзогенных условиях молибденит окисляется с образованием легкорастворимых соединений типа *MoSiO2 и H2MoO4.*

В природе известно около 20 молибденовых минералов. Главнейшими из них являются: молибденит, повеллит, молибдошеелит, вульфенит, ферримолибдит и ильземаннит.

*Молибденит* *MoS2* (содержание *Mo* – 60 %) – это основной промышленный минерал молибденовых руд. В нем почти всегда в виде изоморфной примеси присутствует рений (до 0,3 %). Молибденит кристаллизуется в гексагональной сингонии, габитус кристаллов таблитчатый, короткопризматический, бочковидный, цвет голубовато-серый, блеск металлический. Встречается в высоко- и среднетемпературных гидротермальных месторождениях, связанных с кислыми изверженными горными породами, а также в пегматитах и грейзенах в ассоциации с вольфрамитом, касситеритом.

*Повеллит* *CaMoO4* (*Mo* – 48 %) (по фамилии Повелл), кристаллизуется в тетрагональной сингонии, габитус кристаллов дипирамидальный, таблитчатый, цвет зеленовато-желтый, блеск алмазный, твердость 3,5, удельная масса 4,5 г/см3.

*Молибдошеелит Ca(W,Mo)O4* (*Mo* – 0,5–15 %), молибденсодержащий шеелит. Цвет его золотисто-желтый, удельная масса 5,5–5,9 г/см3. Под воздействием рентгеновских, ультрафиолетовых и катодных лучей люминисцирует в белых и желтовато-белых тонах. Встречается в известковых скарнах с молибденитом, в пегматитах – с флогопитом, диопсидом, сфеном.

*Вульфенит PbMoO4* (*Mo* – 46 %) (по фамилии Вульфен), кристаллизуется в тетрагональной сингонии, кристаллы – квадратные таблички, иногда октаэдрические, реже призматические и кубообразные, цвет желтовато-серый, зеленый до бурого, твердость 2,5–3, удельная масса   
6,9 г/см3.

*Ферримолибдит Fe2O3×2MoO3×7H2O* (*Mo* – 60 %) кристаллизуется в ромбической сингонии, образует корочки пучковатые или радиальноволокнистые агрегаты, цвет желтый, блеск шелковистый, твердость 1–2, удельная масса 4,5 г/см3.

*Ильземаннит Mo3O8×nH2O* (*Mo* до 30 %) (по фамилии Ильземанн). Обратимый минеральный гель, встречается в виде землистых агрегатов, пигмент пород и минералов, цвет голубой до черного, растворим в воде и кислотах.

***Металлогения и эпохи рудообразования*.** Эндогенные месторождения молибдена формировались главным образом на средней и поздней стадиях геосинклинального этапа, а также в связи с явлениями магматической активизации на платформенном этапе. Собственно молибденовые месторождения размещаются в областях с приподнятым кристаллическим фундаментом, преимущественно сложенным гранитоидами. Оруденение контролируется зонами длительно развивавшихся разрывных нарушений. Общей особенностью месторождений молибдена является формирование их в тесной связи с внедрением малых интрузий в неспокойной тектонической обстановке, что существенно отличает эти месторождения от вольфрамовых. Глубина формирования верхних частей рудных тел колеблется от нескольких сотен до 1000–1500 м, а вертикальный размах оруденения достигает 1000 м и более.

Медно-молибденовые месторождения обычно размещаются в складчатых областях на площадях широкого проявления магматизма. Оруденение пространственно связано с малыми интрузиями и развивается в их апикальных частях. Месторождения этого типа ассоциированы с монцонитами, гранодиоритами и граносиенитами.

Экзогенные месторождения (молибденсодержащие угли, углистые и углисто-кремниевые сланцы) образовывались на ранней стадии геосинклинального этапа и в платформенных условиях. Они обладают достаточно крупными ресурсами, но из-за низкого содержания молибдена (сотые–тысячные доли процента) в настоящее время являются невостребованными.

Молибденовые месторождения формировались в различные геологические эпохи рудообразования. В наиболее древнюю – *докембрийскую эпоху* образовались сравнительно небольшие месторождения в Норвегии, Швеции, Финляндии, Канаде и в ЮАР, представленные преимущественно молибденоносными гранитными пегматитами, а также гидротермальными жильными и штокверковыми зонами медно-молибденовых руд. Некоторые из них разрабатываются: Кнабен в Норвегии, Ля Корн и Норанда в Канаде (провинция Квебек).

В *раннепалеозойскую (каледонскую) эпоху* они становятся заметнее и распространены несколько шире. Наиболее крупные месторождения этого возраста – Местерс-Виг в Гренландии и Сора в Кузнецком Алатау (Россия). На месторождении Сора рудоносными являются лейкократовые граниты.

Молибденовые месторождения *позднепалеозойской эпохи* рудообразования известны в Австралии, Казахстане и Северной Африке (Марокко). В Австралии многочисленные, но не большие по запасам месторождения сосредоточены преимущественно в восточных районах страны (штаты Квинсленд и Новый Южный Уэльс). Они генетически связаны с герцинскими гранитоидами, интрудирующих толщу метаморфических пород силурийско-каменноугольного возраста. Среднее содержание молибдена в рудах 0,5–1,0 %. В Казахстане наиболее крупными являются месторождения Восточный Коунрад и Коктенколь.

*Мезозойская эпоха* ознаменовалась формированием сравнительно большого количества молибденовых месторождений, но промышленные сконцентрированы в основном в России, Китае и Канаде. В России они расположены главным образом в Забайкалье, где связаны с гранитоидными породами и локализованы вдоль региональных разломов (Бугдая, Шахтама и др.). В Канаде наиболее известными являются месторождения в провинции Британская Колумбия (Эндако, Босс Маунтин, Аданак и др.). В Китае основное промышленное значение имеют месторождения штокверкового типа, представленные кварц-молибденитовыми прожилковыми и прожилково-вкрапленны-ми рудами. Среди них наиболее известно месторождение Янцзы-Чжандзы, в пределах которого развито 6–7 рудных тел мощностью от 1–3 до 30 м. Содержание в рудах молибдена 0,1–0,3 %.

В *кайнозойскую эпоху* образовалось основное количество крупных месторождений. Причем около 80 % всех запасов молибдена, сформировавшихся в эту эпоху рудообразования, заключено в месторождениях США. Они сосредоточены главным образом в юго-западной части страны, где выделяется богатейшая в мире медно-молибденовая провинция на территории штатов Колорадо, Юта, Аризона и Нью-Мексико. Уникальными по запасам молибдена являются месторождения Клаймакс, Квеста-II, Гендерсон, Пайн-Ралли и др. Крупные месторождения имеются на Аляске (Куотс-Хилл с запасами руды 1,18 млрд т и среднем содержании Mo 0,08 %) и в штате Айдахо (Томпсон Крик с запасами 180 млн т руды и среднем содержании Mo 0,18 %).

**2. Генетические типы промышленных месторождений**

***Среди промышленных месторождений олова известны:***   
1) пегматитовые, 2) скарновые, 3) грейзеновые, 4) плутоногенные гидротермальные, 5) вулканогенные гидротермальные, 6) россыпные.

*Пегматитовые месторождения*. Это, как правило, высокотемпературные образования, генетически связанные с интрузивами порфировидных гранитов с повышенной глиноземистостью и с преобладанием натрия над калием. В пределах интрузивных массивов тела оловоносных пегматитов представлены линзами, трубообразными залежами и шлировыми образованиями. Размеры рудных тел небольшие, но в отдельных случаях могут достигать сотен метров по простиранию и десятки метров по мощности. Главным рудным минералом является касситерит, который распределен в рудных телах весьма неравномерно и приурочен к зонам альбитизации и грейзенизации. Руды комплексные: касситерит ассоциирует с мусковитом, топазом, турмалином, флюоритом, кварцем, колумбитом, вольфрамитом и др. Месторождения этого типа отличаются низким средним содержанием Sn (не выше 0,1–0,2 %) и в целом их роль в добыче олова невелика. Пегматитовые месторождения олова известны в России (Забайкалье), в Центральной Африке, США (Сильвер-Хилл), Канаде (Берд-Ривер).

*Скарновые месторождения* олова выявлены в России в Забайкалье (Ярославское) и в Карелии (Кителя, Питкяранта), а также в Китае (Лаочан), Малайзии (Беатрис), Индонезии (Кампит, Клаппа), Мексике. Оруденение приурочено, как правило, к известковым скарнам. Рудные тела образуют круто- и пологозалегающие залежи на контакте гранитоидов и известняков, трубы на пересечении разрывов, их сопряжениях и искривлениях. Олово заключено в основном в касситерите, который находится в тесной парагенетической ассоциации с другими рудными минералами – магнетитом и различными сульфидами (арсенопирит, пирротин и др.).

Среди касситерит-скарновых месторождений выделяются магнетитовые и сульфидные. Первые характеризуются резким преобладанием среди рудных минералов магнетита. В касситерит-скарновых сульфидных месторождениях широко развиты пирротин, сфалерит, халькопирит, станнин, борнит, кубанит, а также разнообразные бораты, в том числе данбурит, датолит и др.

*Грейзеновые месторождения* олова широко распространены в России – на Чукотке (месторождение Экуг), в Забайкалье (Этыка), Приморье (Чапаевское), Республике Саха (Кестер, Бутыгычаг), Германии (Альтенберг), США (Лост-Ривер), Китае (Лиму) и других странах. Они связаны с аляскитовыми гранитными интрузиями гипабиссальной фации. Возраст их – от архейского до альпийского включительно. Рудные тела представлены жилами, штокверками, трубами. Главные рудные минералы: касситерит, вольфрамит, арсенопирит, циннвальдит; нерудные – кварц, альбит, ортоклаз, мусковит, топаз, флюорит, турмалин.

*Плутоногенные гидротермальные месторождения*. Этот генетический тип среди месторождений олова имеет достаточно широкое распространение. Они известны в России – на Чукотке (Валькумей), в Приморье (Хрустальное), Забайкалье (Хапчеранга, Шерлова Гора), Республике Саха (Эге-Хая, Депутатское), а также в Великобритании (Крофти, Долкоатс), Австралии (Маунт-Бишоф), Канаде (Маунт-Плезант) и других странах. Месторождения связаны в основном с малыми интрузиями гранитоидов повышенной основности, реже с плутонами нормальных гранитоидов. Рудные тела представлены жилами и штокверками. Главными рудными минералами являются касситерит и пирротин.

С.С. Смирнов среди плутоногенных гидротермальных месторождений выделил две рудные формации – *касситерит-силикатно-сульфидную* (Валькумей, Депутатское, Хрустальное, Хапчеранга, Крофти, Долкоатс, Маунт-Плезант) и *касситерит-сульфидную* (Дальнее, Смирновское в Приморье, Ренисон-Белл в Австралии, Менсон-Лод в Малайзии).

*Вулканогенные гидротермальные месторождения известны* в России на Малом Хингане (Хинганское, Джалинда), Боливии (Ллалагуа, Оруро, Потоси), Мексике (Дуранга, Эль Сантин), Японии (Акенабе). Месторождения этого типа связаны с богатыми калием кислыми риолитами и умеренно-кислыми образованиями андезит-риолитовой формации (дациты и др.). Располагаются они среди вулканических образований и находятся в тесной ассоциации с субвулканическими, жерловыми, экструзивными, реже эффузивными фациями.

Рудные тела представлены ветвящимися жилами, реже штокверками. Мощность рудных жил изменяется от 0,1 до 2–3 м (чаще составляет около   
1 м). Они прослеживаются по простиранию на десятки и сотни метров, а на глубину до 700–800 м. Руды оловянные, часто комплексные (*Sn–Ag; Sn–Pb–Zn*). Минеральный состав их сложный. Главные рудные минералы: касситерит, станнин, висмутин, арсенопирит, пирротин; нерудные (жильные) – кварц, турмалин, серицит.

*Россыпные месторождения* имеют важное экономическое значение. Они широко распространены в Малайзии, Индонезии, Таиланде, Китае, а также в России – на Чукотке (Пыркыкай), в Приморье (Воскресенское), Республике Саха (Депутатское). Оловоносные россыпи возникают за счет разрушения коренных месторождений – касситерит-пегматитовых, кварц-касситеритовых, оловоносных грейзенов, оловоносных скарнов и др.

Наиболее крупные месторождения россыпного олова находятся на Малайском архипелаге (Малайзия, Индонезия). В Малайзии известно около 500 приисков и рудников. Наиболее важные из них Перак, Селангор, Сембилан, Негрри и др. Основные месторождения сосредоточены в долине   
р. Кинта. Здесь разрабатываются преимущественно аллювиальные россыпи. Плотик россыпных месторождений сложен известняками, кристаллическими сланцами, перекрытых мощным латеритным покровом. Касситерит вначале накапливался в результате разрушения оловоносных грейзенов и кварц-касситеритовых жил в элювии, а затем сносился в долину. В других районах Малайзии плотиком является гранит.

В Индонезии месторождения сосредоточены преимущественно на трех островах – Банка, Биллитон и Сингкип. Главным районом добычи касситерита являются россыпи о. Банка. Здесь в результате выветривания послетриасовых гранитов, содержащих оловоносные штокверки, образовались остаточные элювиальные россыпи. Часть этих россыпей была смыта в прилегающие долины и перекрыта аллювиальными песчаными наносами. Происшедшее в четвертичный период погружение местности привело к затоплению нижних участков речных долин, которые вместе с подстилающим плотиком погрузились на глубину до 30 м ниже современного уровня моря. Затопленные россыпи в настоящее время разрабатываются морскими драгами.

***Выделяются следующие генетические типы промышленных вольфрамовых месторождений***: 1) скарновые (контактово-метасоматичес-кие), 2) грейзеновые, 3) плутоногенные гидротермальные, 4) вулканогенные гидротермальные, 5) россыпные, 6) отложения горячих минеральных источников, 7) рассолы.

*Скарновые месторождения*. Они приурочены к гранат-пироксеновым и другим скарнам. По условиям залегания рудоносных вольфрамсодержащих скарнов выделяются: 1) месторождения, образовавшиеся на контакте гранитоидов и известняков; 2) возникшие на контакте любых силикатных пород (сланцев, роговиков, порфиритов и др.) с карбонатами;   
3) месторождения, расположенные в гранитоидах.

Рудные тела представлены пласто- и линзообразными залежами, гнездо- трубо- и жилообразными телами. Размеры их от первых сотен метров до нескольких километров по простиранию и от нескольких десятков до 800 м по падению, при мощности от 1–2 до 50 м. Главные рудные минералы: шеелит, иногда молибденит; второстепенные – касситерит, висмутин, магнетит, пирротин, пирит, арсенопирит, вольфрамит и др. Процесс минералообразования длительный и многостадийный (5–6 стадий). Месторождения этого типа известны в России (Тырныаузское, Восток-II), США (Пайн-Крик), Австралии (Кинг-Айленд), Китае (Хуанподи, Шичжийюань и др.), Южной Корее (Санг-Донг). Среди этих месторождений выделяются две главные рудные формации: *шеелитовая* (Восток-II, Санг-Донг) и *шеелит-молибденовая* (Тырныаузское).

*Грейзеновые месторождения* формировались в орогенных зонах геосинклиналей и в областях активизации древней складчатости платформ на глубинах от 5 до 7 км от земной поверхности при диапазоне оруденения 300–500 м. Они приурочены обычно к апикальным куполовидным зонам лейкократовых, реже пегматоитдных гранитов. Рудные тела имеют форму штоков и штокверков, реже жил. Вольфрамовые руды связаны главным образом с кварц-топазовыми, кварц-слюдистыми и кварцевыми грейзенами. Главные рудные минералы: вольфрамит, молибденит, касситерит; второстепенные – магнетит, висмутин, пирротин, пирит, халькопирит, галенит и сфалерит. Месторождения этого типа известны в России (главным образом в Забайкалье – Спокойнинское, Букукинское), Казахстане (Акчатау, Караоба), Китае (месторождения олово-вольфрамового района массива Цзянси), Германии (Пехтельгрюн, Садисдорф), Монголии (Баянмонд, Югодзыр), Австралии (Вольфрам-Кемп, Террангтон) и других странах.

*Плутоногенные гидротермальные месторождения,* как правило, ассоциируются с куполами гранитных массивов и штоками гранит-порфиров. Они размещаются в основном в экзоконтактовой зоне, сложенной роговиками. Главные рудные минералы: вольфрамит, гюбнерит, иногда шеелит; второстепенные – касситерит, молибденит, висмутин и др. Глубины формирования плутоногенных гидротермальных вольфрамовых месторождений 1–5 км.

Рудные тела представлены жилами, штокверками или штокверковыми зонами. Жилы прослеживаются на десятки – сотни метров, мощность их колеблется от 0,1 до 5 м (в раздувах). Штокверки имеют размеры в поперечнике от 400 до 1000 м. Выделяются следующие рудные формации: 1) *кварц-вольфрамитовая* (месторождение Антоновское в Забайкалье); 2) *кварц-гюбнеритовая* (Бом-Горн в Забайкалье); 3) *кварц-шеелитовая* (Богуты в Казахстане); 4) *кварц-касситерит-вольфрамитовая* (Панаскуейра в Португалии, Иультин на Чукотке); 5) *кварц-сульфидно-вольфрамит-гюбнеритовая* (Холстон, Инкур в Забайкалье).

*Вулканогенные гидротермальные месторождения* распространены в областях современного и молодого вулканизма. Оруденение связано с андезит-дацит-липаритовыми формациями, а также вулканитами, обладающими повышенной щелочностью. Месторождения, как правило, приурочены к образованиям экструзивной, жерловой и субвулканической фаций. Рудовмещающими структурами являются вулканические купола, некки синвулканические зоны дробления и трещиноватости. Выделяются три рудные формации: 1) (*киноварь*)-*антимонит*-*шеелит*-*ферберитовая* (месторождение Горная Рача и Зопхито в Закавказье); 2) *серебро*-*золото*-*шеелитовая* (Боулдер в США); 3) *псиломелан*-*тунгомелановая* (Голконда в США).

*Россыпные месторождения* известны в России (Шерлова Гора в Забайкалье, Омчикандин в Республике Саха), Казахстане (Караоба, Богуты), США (Анатолия в штате Калифорния), Индонезии, Таиланде, Китае и в других странах. Они тесно связаны с коренными породами и образуются главным образом за счет разрушения грейзеновых и особенно плутоногенных гидротермальных месторождений. Наиболее широко развиты касситерит-вольфрамитовые и вольфрамитовые россыпи, реже шеелитовые и гюбнеритовые. Среди них распространены преимущественно элювиальные и аллювиальные россыпи.

*Элювиальные россыпи* образуются в результате физического выветривания коренных вольфрамовых месторождений и состоят из обломков вольфрамитовой руды (кварц с вольфрамитом и шеелитом) среди разрушенных вмещающих пород. Они известны в Боливии, Китае и Мьянме. Элювиальные рассыпи до Великой Отечественной Войны отрабатывались на месторождении Караоба в Казахстане. Среди *аллювиальных россыпей* вольфрама преобладают россыпи современных долин. Русловые и особенно косовые россыпи, а также террасовые встречаются реже и практического значения не имеют. Вольфрамит, который нередко накапливается совместно с касситеритом, концентрируется в нижних частях рыхлых отложений. Длина россыпей достигает 5–8 км при ширине 100–200 м, мощность рудного пласта 1–2 м. Содержание вольфрамита и шеелита в разрабатываемых россыпях колеблется от сотен граммов до нескольких килограммов на 1 м3 песка. Относительно крупными запасами обладают аллювиальные россыпи месторождения Атолия в Калифорнии.

*Отложения горячих минеральных источников.* Месторождения этого типа имеются в США, Боливии и Монголии. Наиболее крупные из них (Голконда и Содавилль) расположены в штате Невада. Они представлены пластообразными залежами псиломелана с лимонитом, обогащенными вольфрамом. В составе псиломелана, наблюдаются повышенные количества *K, Ba и WO3* (от 1 до 7 %). Пластообразное тело вольфрамсодержащей марганцевой руды вместе с подстилающими и перекрывающими известковистыми туфами в виде покрова залегают несогласно на породах триаса (глинистые сланцы, песчаники, известняки и кварциты). Руды приурочены к нижним горизонтам толщи туфов. В плане рудное тело имеет серповидную форму. Мощность рудного пласта колеблется от 0,1 до 6,0 м. Предполагается, что вольфрам осаждался в псиломелан-лимонитовых образованиях из горячих источников, выщелачивавших его из расположенных поблизости жильных вольфрамовых месторождений.

*Рассолы.* В рассолах соляного пласта оз. Сёрлс, расположенного в пустыне Мохаве (штат Калифорния), установлено относительно высокое содержание *WO3*. Площадь распространения соляного пласта составляет около 90 км2, мощность его варьирует от нескольких сантиметров до 35 м. Запасы *WO3* в рассолах оцениваются в 80 тыс. т.

***Рудопроявления в Беларуси*.** В кристаллическом фундаменте наиболее благоприятны для вольфрамовой минерализации являются зоны скарнированных гнейсов. К настояшему времени выявлено лишь 1 рудопроявление – *Раевщинское*, локализованное в пределах Минского глубинного разлома в западном экзоконтакте Бобовнянского гранитогнейсового купола. Здесь среди интенсивно гранитизированных плагиогнейсов установлены 2 горизонта скарноидов с вкрапленностью шеелита и содержанием вольфрама до 0,007 %.

Более мелкие проявления минерализации этого типа известны на участке *Мир* в экзоконтакте гранитоидов жуховицкого комплекса, а также на юге Беларуси в экзоконтакте гранитоидов микашевичского комплекса (участок Глушковичи).

Среди промышленных месторождений молибдена выделяются:   
1) скарновые, 2) грейзеновые, 3) плутоногенные гидротермальные,   
4) вулканогенные гидротермальные.

*Скарновые месторождения*. К этой группе относятся скарново-молибденит-шеелитовые и скарново-шеелитовые месторождения, образующиеся на контактах гранитоидов с карбонатными породами. Основная масса молибденита выделялась после образования скарновых минералов и шеелита в виде секущих скарны молибденитовых либо кварц-молибденитовых прожилков.

Рудные тела имеют пластообразную, линзовидную, жильную форму, иногда представлены штокверками прожилковых руд в гранитоидах. Главные рудные минералы: молибденит, пирит, шеелит (иногда молибдошеелит), халькопирит и магнетит; второстепенные – сфалерит, галенит и др. Месторождения этого типа известны в России (Тырныаузское, Киялых-Узень в Хакассии), Казахстане (Каратас-I), Марокко (Азгур), Румынии (Байтца), Китае (Янцзы-Чжандзы), США (Пайн-Крик), Турции (Тахталыдаг).

*Грейзеновые месторождения* достаточно широко распространены в Казахстане (Восточный Коунрад, Акчатау, Жанет и др.), России (Первомайское и Булуктай в Забайкалье), Монголии (Югодзыр), Аргентине (Серро-Асперо) и других странах. Они связаны с куполами липаритовых гранитов, располагаясь в них на 300–500 м в глубину. Рудные тела имеют форму штокверков, реже труб. Собственно грейзены состоят из слюды (мусковит, биотит) и кварца, а также плагиоклаза, турмалина, топаза и флюорита. Главные рудные минералы: молибденит, вольфрамит; второстепенные – касситерит, висмутин, магнетит, пирит, халькопирит, сфалерит и галенит.

*Плутоногенные гидротермальные месторождения* весьма широко распространены и имеют большое экономическое значение. Среди них выделяются три основные рудные формации: 1) *кварц-молибденитовая*,   
2) *кварц-молибденит-серицитовая*, 3) *кварц-молибденит-халькопирит-серицитовая.*

*Месторождения кварц-молибденитовой формации* самые многочисленные. К ним относятся месторождения в Забайкалье (Шахтама, Давенда, Жирекен), на Дальнем Востоке (Умальта), в Казахстане (Шалгия), Канаде (Босс-Маунтин), США (Квеста-I, Квеста-II и др.). Они тяготеют к ореолам развития биотит-мусковитовых гранитов. Рудные тела приурочены к поздним дайкам кислого и субщелочного состава. По форме они могут быть разделены на штокверковые, имеющие много общего с месторождениями меднопорфировых руд, и жильные. Главные рудные минералы: молибденит и вольфрамит; второстепенные – касситерит, шеелит, пирит, арсенопирит, пирротин, халькопирит, галенит, сфалерит; жильные – кварц, калиевый полевой шпат, плагиоклаз, мусковит и др. Минералообразование протекало в несколько стадий.

*Месторождения кварц-молибденит-серицитовой и кварц-молибденит-халькопирит-серицитовой формаций* представлены, как правило, молибденовыми, часто медно-молибденовыми прожилково-вкрапленными рудами. В Армении – это месторождение Каджаран, в России – Сора, в США – Клаймакс, Гендерсон и др. Они связаны с порфировыми интрузиями диорит-гранодиорит-гранитовых комплексов. Находятся в эндоконтактовых зонах интрузивов. Рудные тела представлены преимущественно штокверками концентрического или линейного строения. Главные рудные минералы первичных руд: молибденит, халькопирит и пирит; второстепенные – магнетит, гематит, борнит, блеклые руды, галенит и сфалерит. Содержание молибдена в рудах молибденпорфировых месторождений составляет   
0,05–0,5 %, а в медно-молибденпорфировых – 0,005–0,025 %.

*Вулканогенные гидротермальные месторождения* представлены уранинит-молибденитовой формацией. Они обычно приурочены к участкам пересечения разломов различного направления, секущих туфогенно-осадочные породы и эффузивы типа кварцевых порфиров. Форма рудных тел – штокверки. Молибденит мелкочешуйчатый, в тесном прорастании с урановой смолкой. Выделение его происходило после образования основной массы сульфидов и карбонатов. Изменение вмещающих пород вблизи рудных тел проявилось в серицитизации, хлоритизации, окварцевании, альбитизации, карбонатизации или аргиллитизации.

***Рудопроявления в Беларуси*.** Проявления молибдена связаны с медно-молибденовой сульфидно-скарновой (Шнипки) и медно-молибденовой сульфидной (Скидельское) формациями. *Рудопроявление Шнипки* находится в Щучинском районе Гродненской области. Кристаллический фундамент здесь сложен катаклазированными и милонитизированными породами заборской толщи щучинской серии. Встречены маломощные участки сульфидной и магнетитовой минерализации, приуроченные к крутопадающим тектоническим зонам. Оруденение представлено обильной вкрапленностью и прожилками сульфидов. В скв. № 5п в интервале 233,6–239,4 м вскрыта карбонат-кварц-сульфидная жила, рудные минералы в которой представлены пиритом, марказитом, халькопиритом, пирротином, магнетитом и молибденитом.

*Рудопроявление Скидельское* локализовано в Западно-Белорусской металлогенической зоне, выделяемой в западном обрамлении гранулитового пояса. Вмещающими породами являются эпидотизированные и хлоритизированные гранитогнейсы, гранитоиды и полевошпатовые жилы. Минерализация представлена вкрапленностью и прожилками сульфидов, среди которых установлены халькопирит, молибденит, борнит и пирит. Мощность минерализованных интервалов не превышает 0,5 м. В качестве элементов-примесей отмечены *Co, Ni, Pb, Zn, Sn, Ag и Au*. В последнее время проявления молибдена выявлены при отработке пород кристаллического фундамента месторождения Микашевичи. Здесь молибденит связан с жилами мелкокристаллического розовато-серого гранита. Этот минерал встречается в виде включений размером до 0,5×1,5 см, а также образует небольшие гнезда.

**12.2** **Висмут, кобальт и ртуть**

1. Геохимия, минералогия и металлогения

2. Генетические типы промышленных месторождений

**1. Геохимия, минералогия и металлогения**

***Висмут*** – белый металл с розоватым оттенком. Он обладает диамагнитностью, плохой теплопроводностью, низкой температурой плавления (271,3° С), высокой температурой кипения (1560° С) и способностью расширяться в объеме при затвердевании. Висмут и его соединения обладают дезинфицирующими и антисептическими свойствами.

Висмут является последним членом подгруппы мышьяка. Относится к халькофильным элементам. Ближайшие аналоги висмута – сурьма и свинец. Кларк его по А. П. Виноградову составляет 9⋅10-7 %. Содержание висмута повышается от ультраосновных магматических пород (1⋅10-7 %) к кислым (1⋅10-6 %). Он представлен одним изотопом с массовым числом 209. Характеризуется переменной валентностью, в природных условиях преобладает *Bi3+*. Высокое сродство к сере, способность существовать в свободном состоянии и склонность к образованию основных солей определяют важнейшие формы нахождения висмута в природе.

На магматическом этапе висмут не концентрируется. Его накопление связано с постмагматическими процессами гранитоидных магм. Из магматических очагов он выносится в хлоркомплексах *(BiCl2+, BiCl0)* и гидрооксокомплексах *(Bi(OH)03, Bi(OH)-12).* При экзогенных процессах первичные сульфидные соединения висмута окисляются (образуются оксидные и карбонатные соединения). При слабом проявлении процессов окисления висмутин и самородный висмут могут образовать россыпи.

Висмут в том или ином количестве в виде изоморфной примеси входит в состав некоторых сульфидов, а также образует самостоятельные минералы. Известно около 90 минералов висмута, но промышленное значение имеют немногие из них: самородный висмут, висмутин, виттихенит, тетрадимит, галеновисмутит, козалит, айкинит, бисмит, бисмутит.

*Самородный висмут* (содержание *Bi* 99,9 %) кристаллизуется в тригональной сингонии, кристаллы ромбоэдрические, псевдокубические, агрегаты зернистые, листоватые, перистые, дендриты. Цвет желтовато-белый, блеск металлический, твердость 2–2,5, удельная масса 9,8 г/см3.

*Висмутин Bi2S3*(*Bi* 81,3 %) кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы призматические и игольчатые, цвет свинцово-серый, белый с желтоватой и синей побежалостью, блеск металлический, твердость 2–2,5, удельная масса 6,8 г/см3. Встречается в гидротермальных месторождениях жильного типа в ассоциации с топазом, бериллом, в золото-кварцевых жилах и медно-висмутовых месторождениях.

*Виттихенит Cu3BiS3* (*Bi* – 42,15 %) кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы тетраэдрические, агрегаты зернистые, цвет темно-серый до светло-серого, черта черная, блеск металлический, твердость 2–3, удельная масса 6,3 г/см3. Встречается в гидротермальных жилах богатых медью и висмутом.

*Тетрадимит Bi2Te2S* (*Bi* – 59,27 %) кристаллизуется в тригональной сингонии, кристаллы ромбоэдрические, агрегаты листоватые и зернистые. Цвет стально-серый, блеск металлический, твердость 1,5–2, удельная масса   
7,3 г/см3 . Распространен в гидротермальных и контактово-метасоматических месторождениях.

*Галеновисмутит PbBi2S4* (*Bi* – 55,48 %) кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы игольчатые, столбчатые пластинчатые, агрегаты зернистые. Цвет минерала оловянно-белый до светло-серого, черта светло-серая, блестящая, твердость 2,5–3,5, удельная масса 7,1 г/см3. Встречается в высокотемпературных месторождениях висмута, скарнах и золото-кварцевых жилах.

*Козалит* *Pb5Bi2S5* (*Bi* – 42,10%) (по руднику Козала в Мексике) кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы призматические, игольчатые, агрегаты шестоватые, лучистые, зернистые, цвет свинцово-серый, черта черная, твердость 2,5–3, удельная масса 6,7–7,0 г/см3.

*Айкинит CuPbBi2S3* (*Bi* – 36,29 %) (по фамилии Айкин) кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы длинностолбчатые до игольчатых, агрегаты зернистые и друзы. Цвет минерала серый с цветной побежалостью, черта серовато-черная, блестящая, твердость 2–2,5, удельная масса 7,1 г/см3.

*Бисмит Bi2O3* (*Bi* – 89,6 %) кристаллизуется в моноклинальной сингонии, кристаллы псевдоромбические, агрегаты тонкозернистые и порошковатые, цвет серовато-зеленый, желтый, блеск полуалмазный, матовый, твердость 4,5, удельная масса 9,2 г/см3. Развит в зоне окисления.

Минерально-сырьевая база висмутодобывающей промышленности представлена как собственно висмутовыми, так и комплексными висмутсодержащими месторождениями.

Уникальные месторождения висмута встречаются редко (месторождение Теннант-Крик в Австралии). Богатые руды содержат Bi более 1 %, рядовые – 1–0,2 %, бедные – менее 0,2 % (в комплексных рудах).

***Металлогения и эпохи рудообразования.*** Эндогенные месторождения висмута формировались на средней и поздней стадиях геосинклинального этапа, а также в процессе тектоно-магматической активизации консолидированных участков складчатых областей и платформ. Собственно висмутовые месторождения не имеют широкого распространения и обычно этот металл образует комплексные руды с другими металлами в ряде рудных формаций.

Месторождения висмута и висмутсодержащих руд формировались в различные эпохи рудообразования. В *докембрийскую эпоху* образовались месторождения висмутсодержащих руд в Канаде (Большое Медвежье озеро, Эльдорадо и др.), в *позднепалеозойскую* (*герцинскую*) – месторождения в Рудных горах (Яхимов в Чехии), Средней Азии (Адрасман в Таджикистане, Брич-Мулла и Устарасай в Узбекистане), в *мезозойскую эпоху* – месторождения в Южной Корее (Санг-Донг и др.). Значительное количество месторождений висмутсодержащих руд принадлежит *альпийской металлогенической эпохе* (Тасна в Боливии, Сан-Грегори в Перу).

***Кобальт*** – тугоплавкий металл (температура плавления 1493º С), ковкий, тягучий, устойчив к коррозии. Он имеет очень высокую точку Кюри (1121º С), т. е. температуру, при достижении которой металл перестает быть магнитом. Кларк кобальта 0,003 %, коэффициент концентрации невысокий – 100. Содержание Co увеличивается от кислых (5·10-4 %) до ультраосновных магматических пород примерно в 100 раз, хотя отношение *Co/Ni* в этом направлении уменьшается. В осадочных породах концентрация кобальта низкая и только в глинистых отложениях приближается к кларку (0,003 %, или 30 г/т), а в осадках, содержащих гидрооксиды железа и марганца, в ряде случаев достигает 0,1–2,0 %. Кобальт представлен единственным стабильным изотопом *59Co.* В простых соединениях наиболее устойчив *Co2+,* в комплексных – *Co3+*. Кобальт по сравнению с никелем геохимически ближе к Fe2+.

На магматическом этапе кобальт концентрируется совместно с никелем в тесной генетической связи с ультраосновными и основными магмами. В гидротермальном процессе он вместе с *Fe2+ и Ni2+* выносится растворами в виде сульфидных, галоидных и мышьяковых комплексных соединений. В экзогенных условиях при высоком окислительном потенциале кобальт переходит в трехвалентное состояние и концентрируется совместно с марганцем в зонах окисления мышьяковых и сернистых соединений. В корах выветривания гипербазитовых массивов он аккумулируется в силикатных рудах никеля.

Основными минералами первичных кобальтовых руд являются: кобальтистый пентландит, линнеит, кобальтин, глаукодот, саффлорит, скуттерудит.

*Кобальтистый* *пентландит* *(Fe,Ni,Co)9S8* (содержание *Co*   
до 3 %). Кобальт в пентландите изоморфно замещает никель и железо; минерал весьма характерен для сульфидных медно-никелевых руд ликвационных месторождений.

*Линнеит* *Co3S4* (*Co* 57,96 %) (по фамилии шведского натуралиста Карла Линнея), кристаллизуется в кубической сингонии, габитус кристаллов октаэдрический, розовато-белый, твердость 5,5, удельная масса 4,85 г/см3. Основной минерал руд Заира и Замбии.

*Кобальтин* *CoAsS* (*Сo* 35–41 %), кристаллизуется в кубической сингонии, габитус кристаллов октаэдрический, кубический и додекаэдрический, цвет розовато-белый, блеск металлический, твердость 5,5, удельная масса 6,4 г/см3, характерен для руд гидротермальных месторождений.

*Глаукодот* (*Co,Fe)AsS* (*Co* 23,85 %), кристаллизуется в ромбической сингонии, габитус кристаллов призматический, цвет зеленовато-синий, серовато-белый до красноватого, блеск металлический, твердость 5, удельная масса 6,2 г/см3.

*Саффлорит (Co,Fe)As2* (*Co* 28,23 %) кристаллизуется в моноклинальной сингонии, цвет оловянно-белый до свинцово-серого, блеск металлический, твердость 4,5–5, удельная масса 7,3 г/см3; распространен в гидротермальных месторождениях.

*Скуттерудит* *CoAs3* (*Co* 16–20 %) (по названию месторождения Скуттеруд в Норвегии), кристаллизуется в кубической сингонии, габитус кристаллов кубический, октаэдрический, пентагондодекаэдрический, цвет белый, твердость 5,5–6, удельная масса 6,7 г/см3.

В зоне выветривания отмечаются скопления гидрооксидов кобальта экзогенного происхождения – *асболана* *m(Co,Ni)O2×MnO×nH2O* (*Co* до 19 %), а в зоне окисления эндогенных руд кобальта – *эритрина* *Co3As3O8×8H2O*   
(*Co* 11–29 %).

***Металлогения и эпохи рудообразования*.** На ранней стадии геосинклинального этапа никель в небольших количествах концентрировался в кобальтсодержащих пиритах колчеданных месторождений и в кобальтсодержащих магнетитах скарновых месторождений. На средней и поздней стадиях развития геосинклиналей возникали гидротермальные месторождения кобальтовых месторождений. На стадии активизации платформ кобальт накапливался в сульфидных медно-никелевых рудах. На платформенном этапе образовывались стратиформные месторождения медистых песчаников с кобальтом, а также месторождения кор выветривания гипербазитовых массивов.

В истории развития земной коры отмечалось несколько эпох формирования кобальтовых месторождений, наиболее продуктивными из которых являлись докембрийская, мезозойская и кайнозойская. В *докембрийскую эпоху* сформировались крупные промышленные месторождения в Канаде (Кобальт, Садбери и др.), Замбии, Заире и Марокко. В Марокко разрабатываются месторождения Бу-Аззер и Эль-Граара. Рудные жилы этих месторождений приурочены к контакту докембрийских серпентинитов и диоритов. Кобальтовые минералы представлены кобальтином, скуттерудитом и смальтином.

В *мезозойскую эпоху* образовались месторождения в Южной Африке (Инсизва и др.) и России (Норильский рудный район, отдельные месторождения кор выветривания на Урале).

*Кайнозойская эпоха* ознаменовалась формированием никелевых месторождений, связанных с латеритными корами выветривания. Такие месторождения сосредоточены преимущественно на Кубе, в Новой Каледонии и Индонезии.

***Ртуть*** в обычных условиях – это серебристо-белый блестящий жидкий металл. При температуре около – 38,86º С она твердеет, а при температуре +353,6º С кипит. Кларк ртути 8,3·10-6 %. В природе она находится в рассеянном состоянии и только 0,02 % ее сосредоточено в месторождениях. В магматических породах различного состава содержание ртути близко к кларковому, увеличиваясь в щелочных породах до 1·10-4–1·10-2 %. Среди осадочных пород максимальные концентрации ртути установлены в глинистых сланцах (до 2·10-5 %). В водах Мирового океана содержание ртути составляет 1·10-6 г/л. Известно семь стабильных изотопов ртути с массовыми числами 196, 198–202 и 204, среди которых преобладает *202Hg*. Важной геохимической особенностью ртути является то, что в ряду других халькофильных элементов она характеризуется самым высоким потенциалом ионизации. Это определяет такие свойства ртути, как способность восстанавливаться до атомарной формы (самородной ртути), значительную химическую стойкость к кислороду и кислотам.

По мнению многих геологов, источник ртути ювенильный – подкоровый. Из мантии гидротермальные растворы, содержащие *Hg, Sb и As,* поступали по глубинным разломам. Перенос ртути в них осуществлялся в виде сульфидных комплексов (*HgS2-2*), устойчивых в щелочных растворах при низком окислительном потенциале Eh. В действующих вулканах и термальных источниках ртуть может мигрировать в газовом состоянии и в газовой фазе гидротерм.

В зоне гипергенеза киноварь и металлическая ртуть растворимы в воде даже при отсутствии сильных окислителей. Особенно хорошо растворяется ртуть в сульфидах едких щелочей с образованием, например, комплекса *HgS*×*nNa2S*. Она легко сорбируется глинами, гидрооксидами железа и марганца, глинистыми сланцами и углями.

Известно 25 минералов, содержащих ртуть, но промышленное значение имеют киноварь, метациннабарит, самородная ртуть, блеклая руда (шватцит), кордероит, ливингстонит и каломель.

*Киноварь HgS* (содержание *Hg* 86,2 %) кристаллизуется в тригональной сингонии, габитус кристаллов ромбоэдрический, агрегаты зернистые, вкрапленные, порошкообразные. Цвет минерала ярко- и коричневато-красный, блеск алмазный, матовый, твердость 2–2,5, удельная масса 8 г/см3. Встречается в ртутных, ртутно-сурьмяных месторождениях, реже в золотоносных кварцевых жилах.

*Метациннабарит HgS* (*Hg* 86,2 %) кристаллизуется в кубической сингонии.

*Ртуть самородная Hg.* Часто содержит примеси *Ag, Au.* Образует агрегаты в виде мелких капель, цвет серебристо-белый, блеск металлический, удельная масса при температуре 0º С 13,59 г/см3.

*Каломель Hg2Cl2* (*Hg* 85 %) кристаллизуется в тетрагональной сингонии, габитус кристаллов таблитчатый. Цвет минерала бесцветный, белый до коричневого, твердость 1,5, удельная масса 7,27 г/см3.

***Металлогения и эпохи рудообразования.*** Месторождения ртути являются постмагнетическими низкотемпературными гидротермальными образованиями, имеющими отдаленную парагенетическую связь с производными глубинных подкоровых очагов базальтоидного магматизма.

Среди главнейших ртутоносных провинций наиболее продуктивной является Средиземноморская, в которую входят известные месторождения Испании, Италии, Словении, Алжира и других странах. Ртутные месторождения появляются в позднеорогенные стадии развития регионов и в периоды тектоно-магматической активизации разновозрастных консолидированных геотектонических сооружений. Они локализуются вдоль региональных зон разломов, прослеживающихся в периферических частях платформ и древних срединных массивов (Колымский, Зея-Буреинский и др.), а также в краевых частях прилегающих складчатых зон. Для краевых частей платформ характерно развитие пологих согласных рудных залежей в толщах карбонатных пород, а для оруденевшей части складчатых зон более типичны секущие тела и седловинные залежи в ядрах антиклинальных складок, сложенных песчаниками и сланцами.

В *докембрийскую* и *раннепалеозойскую (каледонскую) эпохи* промышленные месторождения ртути не образовывались. К *позднепалеозойской (герцинской) эпохе* относятся ртутные месторождения Киргизии и Горного Алтая. Спорным до настоящего времени остается вопрос о возрасте ртутного оруденения Никитовского месторождения на Украине. Одни исследователи считают его позднепалеозойским, другие – мезозойским. Достоверно установлена лишь нижняя возрастная граница оруденения, поскольку оно приурочено к песчаникам среднего карбона, залегающим в осевой части Донецкой антиклинали. В США в позднем палеозое сформировался ряд относительно небольших месторождений ртути в штате Арканзас. Все они расположены вдоль южной границы рудной провинции долины Миссисипи.

В *мезозойскую эпоху* образовались значительные по масштабам месторождения ртути в различных регионах мира. В Китае большинство месторождений ртути приурочено к протяженному поясу, расположенному на границе провинций Хунань и Гуйчжоу. Ртутная и сурьмяная минерализация находится вне видимой связи с яньшаньскими гранитами и контролируется крупными разломными зонами. Месторождения ртути в отличае от сурьмяных имеют более скромные размеры. Кроме киновари, руды содержат самородную ртуть, антимонит, реже метациннабарит, реальгар, аурипигмент, пирит, галенит. Мезозойский возраст, по-видимому, имеют многочисленные месторождения и рудопроявления ртути в Канаде, сосредоточенные в северо-западной части Британской Колумбии. Ртутная минерализация генетически связана с крупными гранодиоритовыми батолитами Берегового хребта тихоокеанского побережья, внедрившимися в послеюрское или раннемеловое время. Месторождения приурочены к крупному сбросу, прослеженному по простиранию на 200–250 км, который сопровождается брекчированной зоной шириной до 1,5 км. В США ряд сравнительно небольших месторождений ртути, приуроченных к триасовым и юрским породам, известен в районах Гумбольдт и Першинг (штат Невада).

В России месторождения ртутных руд выявлены на Чукотке, в Западном Верхоянье, в восточных районах Республики Саха. На Чукотке разведано Западно-Палянское месторождение. Ртутное штокообразное оруденение локализуется в зонах пересечений двух систем нарушений и представлено тремя залежами. В Западном Верхоянье имеется ряд месторождений, среди которых наиболее изученными является Звездочка.

В *кайнозойскую эпоху* сформировалась большая часть известных в мире месторождений ртути. Среди них встречаются и месторождения четвертичного возраста (Монте-Амиата в Италии; Сульфур-Бенк в США; термальные источники Камчатки и др.). На Балканах с третичным вулканизмом связано месторождение Идрия, которое разрабатывается более 450 лет. В США выявлено около 500 относительно небольших месторождений ртути, сосредоточенных в пределах Тихоокеанского рудного пояса. Месторождения ртути имеются в Мексике, Перу, Боливии. В Северной Африке многочисленные месторождения приурочены к протяженному разлому вдоль склона Нумидийского хребта (Рас-эль-Ма, Мра-Сма и др.).

**2. Генетические типы промышленных месторождений**

***Известны следующие типы месторождений висмутовых и висмутсодержащих руд:*** 1) грейзеновые, 2) скарновые, 3) плутоногенные гидротермальные, 4) вулканогенные гидротермальные.

*Грейзеновые месторождения* представлены комплексными W–Sn–Bi рудами. Формирование их связано с аляскитовыми гранитами. Рудные тела имеют форму штокверков, труб и жил, приуроченных к трещинам скола. Наиболее характерным и хорошо изученным представителем этого типа является месторождение Альтенберг в Германии. В рудах месторождения помимо олова и вольфрама содержится висмут в виде висмутина и самородного висмута.

*Скарновые месторождения* пространственно связаны с гранат-пироксеновыми и другими известковистыми скарнами. Они формируются на контакте гранитоидов с карбонатными породами или на некотором удалении от этого контакта и реже в гранитоидах. Это, как правило, комплексные W–Mo–Bi месторождения. Главными рудными минералами являются шеелит, молибденит, висмутин, второстепенными – касситерит, магнетит, пирротин, пирит, арсенопирит, вольфрамит, халькопирит, сфалерит и галенит. Месторождения этого типа выявлены в России (Восток-II в Приморье, Тырныаузское на Северном Кавказе), Южной Корее (Санг-Донг), Канаде (Эмеральд-Фини) и других странах.

*Плутоногенные гидротермальные месторождения* известны в Узбекистане (Брич-Мулла, Устарасай), Германии (Нейбулак, Шнееберг), Перу (Сан-Грегори), США (Монте-Кристо), Канаде (Эльдорадо). Оруденение связано с гранитоидными интрузиями. Рудные тела представлены в основном жилами и линзами. Среди месторождений этого типа выделяются две формации – *арсенопирит-висмутовая* и *пятиэлементная* (*Co–Ni–Ag–Bi–U*).

В качестве примера месторождений арсенопирит-висмутовой формации охарактеризуем *месторождение Устарасай*. Оно расположено в Узбекистане в пределах Брич-Муллинского рудного поля (Чаткальский хребет). Участок месторождения сложен кварцитами, песчаниками, известняками и доломитами верхнего девона. Интрузивные породы представлены штоком моцонитов, дайками сиенит-аплитов, а также гранодиоритами и дайками диабазов и диабазовых порфиритов. Верхнедевонские отложения слагают юго-восточное крыло Коксуйской антиклинали, осложненной продольными разломами, надвигами и крутыми сбросами. Оруденение развито в известняках в виде секущих кварц-висмутовых жил, пластообразных рудных залежей и столбообразных мышьяк-висмутовых метасоматических тел.

Формирование месторождения протекало в течение трех стадий: мышьяковую, свинцово-висмутовую и свинцово-сурьмяную. Первая стадия проявлена слабо и представлена метасоматическими пластообразными телами, сложенными арсенопиритом (70–80 %) и кварцем (20–30 %). Вторая стадия характеризовалась образованием разнообразных рудных минералов – пирита, пирротина, висмутина, самородного висмута, висмутовых сульфосолей и жильных минералов (кварц, доломит, кальцит). Третья стадия минерализации развита незначительно в виде маломощных (до 2–7 см) крутопадающих жил. На этой стадии выделялись кварц и ассоциирующие с ним сфалерит, галенит, буланжерит, бурнонит, арсенопирит.

*Вулканогенные гидротермальные месторождения* висмута встречаются относительно редко. Они известны в Таджикистане (Адрасман), Швейцарии (Аннивере), Германии (Шварцвальд), Италии (Бочегиано), Боливии (Тасна). Генетически тесно связаны с вулканогенными комплексами дацит-липаритовой формации, а пространственно – с субвулканическими дайками, жерловинами и некками и локализуются в вулканических структурах, синвулканических разломах и трещинах. Рудные тела представлены ветвящимися жилами, линзами, штокверками, реже трубами. Глубина формирования месторождений 0,5–1,0 км. Среди них выделяются *халькопирит-висмутовая* и *касситерит-вольфрамит-висмутовая* рудные формации.

Типичным представителем халькопирит-висмутовой рудной формации является *месторождение Адрасман*. Оно расположено в Восточном Карамазаре (Таджикистан). Участок сложен верхнепалеозойской эффузивной толщей. Собственно месторождение приурочено к некку кварцевых порфиров и контролируется пересечением разломов субширотного и субмеридионального направлений. Главное рудное тело имеет трубообразную форму и прослеживается на глубину более 200 м от земной поверхности. Другие рудные тела представлены линзами, штокверками и жилами.

***Известны следующие основные типы промышленных месторождений кобальта и кобальтсодержащих руд***: 1) магматические,   
2) скарновые, 3) плутоногенные гидротермальные, 4) стратиформные, 5) коры выветривания.

Магматические месторождения представлены сульфидными медно-никелевыми рудами ликвационного генезиса, концентрирующими кобальт. Эти руды являются комплексными и содержат относительно невысокие количества кобальта (около 0,1 % и менее). Из руд этого генетического типа извлекаются основные объемы кобальта в России, Канаде и ЮАР. Месторождения данного типа располагаются на щитах (Кобальт, Томпсон, Линн-Лейк и другие на Канадском щите, Мончегорское, Печенгское на Балтийском щите) или на платформах (Норильск-1, Октябрьское, Талнахское на Сибирской платформе; Бушвельд, Инсизва на Африканской платформе).

*Скарновые месторождения* – представлены, как правило, кобальтсодержащими магнетитами известковистых скарнов. Они известны в Казахстане (Соколовское и Сарбайское месторождения), в России (Высокогорское и Магнитогорское на Урале; Таежное в Восточной Сибири) и в некоторых других странах.

*Плутоногенные гидротермальные месторождения* обычно связаны с гранитоидными интрузивами, а вмещающие толщи представлены осадочными и метаморфизованными образованиями, реже скарнами и серпентинитами. В большинстве случаев рудные тела имеют форму жил и штокверков.

Месторождения кобальта этого типа распространены в Марокко (Бу-Аззер), Чехии (Яхимов), Армении (Дашкесан-Кобальт), США (Блэкбирд), Канаде (Эльдорадо), России (Ховуаксы), Австралии (Маунт-Кобальт). Среди них известны следующие рудные формации: 1) *смальтин*-*хлоантит*-*никелин*-*аргентитовая* (Ховуаксы, Кобальт), 2) *арсенопирит*-*глаукодот*-*кобальтиновая* (Дашкесан-Кобальт), 3) *пятиэлементная формация Co–Ni–Bi–Ag–U* (Эльдорадо).

*Стратиформные месторождения* кобальтсодержащих медистых песчаников известны в Замбии (Чамбиши, Нчанга) и Заире и имеют большой удельный вес в мировой добыче кобальта. Они приурочены к Катанга-Родезийскому меденосному поясу, который простирается в юго-восточном направлении от района Колвези в Катанге (Заир) до рудника Бвана-Мкубва в Замбии. Месторождения отличаются исключительно высоким качеством руд, в которых наряду с медью в значительных количествах содержится кобальт и другие полезные компоненты. Оруденение приурочено к рудной серии системы катанга (верхней протерозой).

Месторождения кор выветривания кобальтсодержащих никелевых руд приурочены к коре выветривания серпентинитов. Кобальтсодержащие гидрооксиды марганца встречаются во всех зонах профиля выветривания площадного типа, но наиболее обогащены Co верхние горизонты обохренных и нонтронизированных серпентинитов. В месторождениях линейного типа обогащение оксидами марганца, содержащими Co и Ni, происходит в зонах охр и брекчий, совпадающих с контуром промышленных никелевых руд. Отношение Co/Ni в асболанах площадной коры выветривания приближается к единице, однако в среднем для руд кор выветривания составляет 1:20–1:10.

***Среди промышленных месторождений ртути выделяются***:   
1) стратиформные, 2) плутоногенные гидротермальные, 3) вулканогенные гидротермальные.

*Стратиформные месторождения*. Они известны в Киргизии (Хайдаркан), Республике Саха (Левосакынджин), Испании (Альмаден), Перу (Хуанкавелика), Китае (Ваньшань), на Украине (Никитовское). Распространены в основном в областях стабилизации геосинклиналей или в зонах активизации платформ. Эти месторождения приурочены к терригенным или карбонатным комплексам пород, собранных в складки, которые осложнены разрывными нарушениями. Рудные тела представлены согласными пластообразными залежами и линзами среди пористых песчаников или брекчиевидных окварцованных известняков. Содержание ртути варьирует от 0,5–1 до 10–15 %. Главный рудный минерал – киноварь, второстепенные – метациннабарит, антимонит, реальгар, аурипигмент, марказит, пирит, ливингстонит, арсенопирит, галенит, сфалерит, халькопирит. Процесс минералообразования длительный и протекал в течение трех – пяти стадий.

*Плутоногенные гидротермальные месторождения* известны в России (Барун-Шивея и Ильдикан в Забайкалье), Ирландии (Гортдрам), Турции (Гюмюслер), Китае (Воси), Тунисе (Джабель-Аджа), США (Нью-Альмаден, Нью-Идрия). Залегают они среди терригенных, карбонатных, магматических (гранитоиды, гипербазиты) и метаморфических пород. Пространственно связаны с региональными разломами и трещиноватыми зонами. Рудные тела обладают жильной, линзовидной, трубообразной, штокверковой и гнездообразной формой.

Плутоногенные гидротермальные месторождения представлены двумя рудными формациями: 1) *кварц-хлорит-серицит-киноварной* (Гюмюслер, Барун-Шивея) и 2) *магнезиально-карбонатно-киноварной* (Нью-Альмаден и Нью-Идрия в США, Чоган-Узун в Горном Алтае).

*Вулканогенные гидротермальные месторождения* распространены в областях современного или молодого вулканизма и в районах развития термальных источников. Они известны в России на Чукотке (Пламенное), Камчатке (Апапель, Чемпура, Белое, Алнейское), Италии (Монте-Амиата), Алжире (Ислаим), Турции (Казызмах), Японии (Итокума), США (Опалит, Мак-Дермит, Сульфур-Бенк, Кордеро) и в других странах. Месторождения тесно связаны с андезитовыми, трахилипаритовыми и липаритовыми формациями и обычно приурочены к лавам, туфам, туффитам, экструзивным, субвулканическим и жерловым фациям, реже к терригенно-карбонатным породам. Они часто контролируются вулканогенными структурами – кальдерами, вулкано-тектоническими депрессиями, вулканическими куполами, некками, синвулканическими кольцевыми разломами, сбросами, надвигами и зонами трещиноватости. Состав руд относительно сложный. Кроме киновари присутствуют, самородная ртуть, реальгар, аурипигмент, антимонит, пирит, марказит, аргентит, сфалерит, халькопирит, самородное золото и серебро и др. Из нерудных минералов развиты опал, сера, каолинит, алунит, гипс, барит, реже цеолиты, карбонаты, галлуазит.

**12.3** **Цирконий и цезий, ниобий и тантал**

1. Геохимия, минералогия и металлогения

2. Генетические типы промышленных месторождений

**1. Геохимия, минералогия и металлогения**

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

Кларк *Nb* 2·10–3 %, *Та* 2,5·10–4 %. Известно более 50 минералов ниобия и тантала. Главное промышленное значение из них имеют минералы групп *танталита–колумбита (Fе,Мn)(Nb,Та)2О6* (75–86 % *Nb2О5+ Та2О5*), *пирохлора–микролита (Na,Сa)2(Nb,Та)2О6(ОН,F*) (30–70 % и лопарит *(Nb,С1,Са) (Тi,Nb,Та)О8* (8–20 % *Nb2О5+ Та2О5*).

Выделяются руды танталовые, тантало-ниобиевые и ниобиевые. Минимальные содержания *Nb2О5* – 0,1 %, *Та2О5* – 0,01 %.

В настоящее время известно 49 собственных минералов циркония. ***Цирконий*** – типичный оксифильный элемент, в природных условиях образует исключительно кислородные соединения – среди его минералов известны один карбонат, один фосфат, один сульфат, 10 оксидов и 45 силикатов. Характернейшая особенность минералогии циркония – связь подавляющего большинства его минералов с породами щелочного ряда. Цирконий широко используется в промышленности.

Циркон или технический диоксид циркония применяются в литейном деле, в изготовлении огнеупоров, стекла и керамики. Металлический цирконий, сплавы на его основе, очищенные от гафния (менее 0,01 %), применяются в качестве конструкционных материалов в ядерных реакторах, конструкциях самолетов, ракет и космических кораблей. Из сплава циркония с ниодимом делаются сверхпроводящие магниты. Цирконий используется в качестве коррозионностойкого материала в химическом машиностроении.

В настоящее время цирконий практически добывается из экзогенных месторождений, в коренных месторождениях он не имеет самостоятельного значения и представляет интерес лишь как попутный компонент. Все магматогенные месторождения генетически связаны с щелочными породами и встречаются только на древних платформах или на докембрийских срединных массивах геосинклинальных областей фанерозоя. Среднее содержание циркония в эндогенных месторождениях обычно колеблется от 0,1 до 0,7 % и лишь в бадделеитовых жилах достигает 10 – 30 %.

Запасы циркония в месторождениях на докембрийских срединных массивах не превышают сотен тысяч тонн, а на платформах достигают миллионов тонн. Наибольшие запасы циркония приходятся на щелочные граниты, нефелин-калишпатовые массивы и россыпи. Промышленные запасы циркония выявлены в ренне- рифейской, каледонской, герцинской и киммерийской металлогенических эпохах. Крупные метаморфогенные месторождения циркония не известны. На экзогенные месторождения приходится больше половины мировых запасов этого металла. Причем основная масса экзогенных запасов (96 %) представлена месторождениями цирконовых прибрежно-морских и внутриконтинентальных (древних морских или аллювиальных) россыпей и только 4 % – корами выветривания фойяитов с бадделеитовыми жилами.

**2. Генетические типы промышленных месторождений**

***Основное промышленное значение для тантала и ниобия имеют следующие типы месторождений***: магматические, пегматитовые, альбититовые, остаточные выветривания и осадочные россыпи.

*Магматические месторождения* представлены лопаритсодержащими нефелиновыми сиенитами и карбонатитами. Нефелиновые сиениты формируют крупные стратифицированные интрузии (Ловозеро). Лопарит встречается во всех породах, но в наибольшей степени концентрируется в нижних частях ритмически чередующихся слоев. Руды слагают маломощные (до 1–2 м) пластообразные тела, которые пересекают весь массив. Пирохлор встречается в карбонатитовых месторождениях с примесью амфиболов, апатита, магнетита. В рудах ниобий существенно преобладает над танталом. Месторождения этого типа известны в СНГ, Канаде, Бразилии.

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

*Альбититовые месторождения* связаны с верхними частями небольших гранитных куполов, приурочены к зонам эндоконтакта и тектоническим нарушениям. В состав руд входят колумбит-танталит, микроклин, кварц, альбит, топаз, лепидолит, касситерит и вольфрамит. Подобные месторождения тантала и ниобия известны в Нигерии, Заире, Бразилии. Остаточные месторождения выветривания площадного типа формируются при выветривании пегматитов и гранитов, содержащих тантал и ниобий. В коре выветривания содержатся кварц, касситерит, тантало-ниобаты, берилл. Месторождения этого типа выявлены в Бразилии, Зимбабве, Нигерии.

*Россыпные месторождения* элювиально-делювиального и аллювиального типов образуются при размыве кор выветривания. Танталониобаты встречаются в них обычно вместе с касситеритом и вольфрамитом. Россыпи этого типа разрабатываются в Заире, Нигерии, Бразилии.

*Аллювиальные россыпи монацита и циркона*. В россыпях, образующихся по течению рек на большом удалении от коренного источника, преобладают монацит и циркон в ассоциации с магнетитом, ильменитом. Чаще всего содержания монацита и циркона не превышают первых сотен граммов на тонну, но иногда встречаются мелкие богатые россыпи. Россыпь р. Инд в предгорьях Гималаев (Пакистан) содержит (в кг/м3): циркона – 0,22 – 0,9, монацита – 0,045 – 0,625. Запасы редкометальных минералов в россыпях изменяются в широких пределах. Преобладают мелкие месторождения. Например, суммарные запасы монацита в аллювиальных россыпях составляют 130 тыс. т, при этом запасы отдельной россыпи в среднем не превышают 480 т. В Малайзии суммарные запасы монацита десяти аллювиальных россыпей достигают 35 тыс. т. В то же время для небольшого участка (площадь 2,5 км2) аллювиальной россыпи Катахалдих (Индия) запасы монацита составляют около 50 тыс. т.

*Современные и древние прибрежно-морские россыпи*. По фациальному признаку среди прибрежно- мврских россыпей выделяются пляжевые, прибрежно-террасовые, дюнные, дельтовые и россыпи подводного склона. В России, на Украине, в Казахстане наиболее изучены древние россыпи. За рубежом наибольшее экономическое значение имеют современные россыпи океанических пляжей (побережье Индии, Шри-Ланки, Австралии, Новой Зеландии, Бразилии, многих стран Африки и др.). Обычно россыпи прослеживаются на десятки и (с перерывами) даже на сотни километров. Так, протяженность россыпи Малгунд (Индия) 1,6 км, ширина 30 м, мощность продуктивного слоя 0,6 м; протяженность россыпи на побережье Човгхат-Поннани 4 км, ширина 30 – 60 м, мощность песков 0,5 м; протяженность россыпи Чавара 22 км, ширина 45 м, мощность 0,6– 1,5 м.

*Дюнные россыпи* имеют меньшее экономическое значение. Они характеризуются небольшими содержаниями тяжелых минералов, но более равномерным распределением их в толще песка. Однако суммарные запасы тяжелых минералов, в частности циркона, в более бедных дюнных песках выше, чем в пляжевых. Древние прибрежно-морские россыпи отличаются большой площадью и значительной мощностью продуктивных отложений. Отдельные россыпи прослежены от 1,1 до 20 км при мощности продуктивных отложений до 10 м и более. Тяжелая фракция их состоит в основном из ильменита, рутила, лейкоксена, циркона, магнетита, титаномагнетита. Наиболее распространены существенно ильменитовые (или рутиловые) и комплексные титан-цирконовые россыпи с различным соотношением минералов титана (ильменит, рутил, лейкоксен) и циркона. Ильменит-циркон-монаци- товые, циркон-монацитовые и существенно монацито- вые россыпи встречаются реже. Наиболее известны интенсивно разрабатываемые ильменит-цирконовые россыпи восточного побережья Австралии (шт. Квинсленд и Новый Южный Уэльс). В отличие от большинства других россыпей содержания в них ильменита и циркона примерно одинаковы, а иногда циркон даже преобладает.

*Древние россыпи* Украины, России и Казахстана имеют ильменит-рутил-цирконовый состав. Содержание главных полезных компонентов в продуктивных песках россыпей Русской платформы колеблется (в кг/м3): циркон – 5–15, ильменит – 30 – 60, лейкоксен – 3–10, рутил – 5 –15. Монацит встречается лишь в качестве акцессорного минерала. Концентрации ильменита, циркона, монацита и других минералов в прибрежно-морских россыпях приурочены к тонко- или мелкозернистым пескам (или песчаникам в древних толщах) с преобладающим размером зерен – 0,6 мм. В пляжевых песках восточного побережья Австралии средний размер зерен циркона составляет 0,11 мм, монацита – 0,08 мм. В монацитах из россыпей содержится от 4 до 11% *ThO2.*

*Прибрежно-морские россыпи* могут возникать за счет различных пород, распространенных на больших площадях и характеризующихся рядовыми содержаниями тяжелых минералов. Большинство крупных современных пляжевых россыпей за рубежом связано с размывом кор выветривания или донных отложений прибрежной зоны, характерное для австралийских и бразильских россыпей. При разработке титан-цирконовых россыпей получают ильменитовый, рутиловый, цирконовый, дистен- силлиманитовый и другие концентраты.

**12.4** **Благородные металлы**

1. Геохимия, минералогия и металлогения

2. Генетические типы промышленных месторождений

**1. Геохимия, минералогия и металлогения**

Кларк ***золота*** – 4,3×10–7 % весьма низок, этот металл широко распространен в природе. Золото присутствует в водах Мирового океана и промышленно извлекается несмотря на весьма низкое содержание. В природе известны 15 золотосодержащих минералов. Основное промышленное значение имеют самородное золото, его сплавы и теллуриды.

Самородное золото всегда содержит примеси серебра, меди, железа, висмута, свинца и сурьмы. Качество золота оценивается его пробой – содержанием металла в 1000 единицах массы. Проба высококачественного золота более 900, низкокачественного – менее 700. В СНГ для изделий из золота стандартами установлены пробы 375, 500, 583 (585), 750, 958.

Золото присутствует в рассеянном виде и в виде зернообразных и неправильной формы выделений в жильном кварце или сульфидных минералах – пирите, арсенопирите, халькопирите, блеклых рудах, галените, сфалерите. Соответственно выделяют золото-кварцевые и золото-сульфидные руды коренных месторождений.

В россыпях золото наблюдается в самородном виде и отличается относительно высокой пробностью. Кондиционными являются руды коренных месторождений при содержании золота не менее 3 г/т и россыпи с содержанием металла не менее 0,1 г/т (для дражной разработки). По размеру различают дисперсные (до 10 мкм и менее), мелкие (до 0,1 мм), средние (до 1 мм), крупные (до 5 мм) и самородные (более 5 мм, или 10 г по массе) выделения золота. По данным В.И. Соболевского, за всю историю человечества было найдено не более 25–30 крупных самородков – массой более 10 кг. Масса отдельных самородков достигает 36,2 кг («Большой треугольник», Россия) и 285 кг («Плита Холтермана», найдена в Австралии в 1872 г.).

Разведанные запасы ***серебра*** зарубежных странах составляют 360 тыс. т, общие запасы – 500 тыс. т. Они сосредоточены в США, Мексике, Канаде, Перу, Австралии. Около 90 % запасов серебра находится в комплексных рудах. К крупным относятся месторождения с разведанными запасами серебра свыше 1 тыс. т, к средним – от 100 т до 1 тыс. т, к мелким – менее 100 т. Добыча серебра – 7400 т без СНГ – ведется в 45 странах. При этом около 70 % серебра извлекается при переработке руд цветных металлов, 10–15 % при переработке руд золото-серебряных месторождений и столько же из собственно серебряных месторождений.

Известно около 60 минералов, содержащих серебро. Основными являются *самородное серебро Аg* (с примесями золота, меди, висмута, сурьмы, ртути*), аргентит Аg2S*, *пираргирит Аg3SbS3*, *прустит Аg3АsS3*, *теллурид*ы и др. Типы руд и кондиции. Как уже отмечалось, серебро получают попутно при переработке полиметаллических свинцово-цинковых и медных руд, где минимальное содержание его должно быть более 10 г/т. В золотосеребряных рудах минимальное содержание металла около 100 г/т, а в рудах собственно серебряных месторождений – 400 г/т.

***В группу платиновых металлов*** кроме платины входят палладий, родий, осмий, рутений, иридий. Металлы платиновой группы благодаря высокой огнеупорности, хорошей электропроводности, химической стойкости и другим ценным свойствам используются в качестве катализаторов при получении серной и азотной кислот, высококачественного бензина и других продуктов (до 50 %), в электротехнической, автомобильной и медицинской промышленности (25 %), при производстве химической аппаратуры и антикоррозииных покрытий (15 %), ювелирных изделий (10 %). Запасы и добыча. В зарубежных странах разведано 25,2 тыс. т запасов платиновых металлов, подавляющая их масса (24,6 тыс. т) сосредоточена в Бушвельдском комплексе ЮАР.

Платиноносные месторождения известны также в Канаде, Колумбии, США, Эфиопии. Общие запасы оцениваются в 30–40 тыс. т. Месторождения платиновых металлов имеются на Урале, в Сибири (Красноярский край, Республика Саха). Весьма крупными считаются месторождения с запасами (т) свыше 50, крупными – от 5 до 50, средними – от 0,5 до 5, мелкими – менее 0,5. Добыча платиновых металлов в зарубежных странах составляет около 100 т, в том числе 70 т платины. В основном платина добывается из месторождений собственно платиновых руд ЮАР, медноникелевых руд Канады, из россыпей Колумбии, США, Эфиопии. Геохимия и минералогия. Средние содержания металлов платиновой группы таковы (%): платины и рутения по 5×10–7, палладия 1×10–6, иридия и родия по 1×10–7, осмия 5×10–6.

Известно более 90 минералов, содержащих платиноиды. Из них наиболее широко распространены самородная платина и твердые растворы (природные сплавы) платиноидов – ферроплатина, палладистая платина, иридистая платина, осмистый иридий. Встречаются также сульфиды, арсениды и сульфоарсениды платиноидов.

Платиноносными являются ультраосновные породы, хромитовые, титаномагнетитовые и медно-никелевые руды, а также россыпи. В коренных месторождениях минимальное содержание платиноидов составляет 2–5 г/т, в комплексных рудах (например, медно-никелевых) – 0,4 г/т, в россыпях – 0,5 г на 1 м3 песка.

**2. Генетические типы промышленных месторождений**

***Типы промышленных месторождений золота.*** Золото встречается во всех типах магматогенных (кроме пегматитов), а также в метаморфизованных и экзогенных месторождениях. Наибольшее промышленное значение имеют гидротермальные (20 % запасов и 23 % добычи), россыпные (7,5 и 6,5 %) и метаморфизованные (58 и 59 %) месторождения.

*Гидротермальные плутоногенные золото-кварцевые месторождения* связаны с гранитоидными гранодиоритовыми интрузиями. Рудные тела представлены кварцевыми жилами с видимым золотом и сульфидами, а также пиритизированными и окварцованными зонами во вмещающих породах. С арсенопиритом, пиритом и другими сульфидами связаны тонкодисперсные трудноизвлекаемые вкрапления золота. Месторождения этого типа широко распространены.

К ним относятся месторождения Кочкарское (Урал), Мурунтау (Узбекистан), Коммунар, рудник «Советский» (Западная Сибирь), Болиден (Швеция), Колар (Индия), Бендиго (Австралия), Колана (Мали), Намойа (Заир), Баомукан (Сьерра-Леоне), Поркьюпайн (Канада), Морру-Велью, Пассагейм (Бразилия). В районеместорождения Мурунтау развита толща песчаников и сланцев протерозоя-раннего палеозоя, прорванных штоками гранодиоритов и дайками гранит- и сиенит-порфиров. Оно представлено залежами сложной формы, образующими штокверк. В состав рудных тел входят кварц, ортоклаз, кальцит, галенит и др.

На гидротермальных плутоногенных золото-кварцсульфидных месторождениях распространены жилы, залегающие в массивах палеозойских гранитоидов и осадочных породах кровли. В составе руд отмечаются кварц, карбонаты, барит, пирит, халькопирит, сфалерит и галенит. Золото присутствует в самородном виде в кварце и сульфидах. К месторождениям этого типа относятся Березовское (Урал), Степняк (Казахстан), Берикульское и Саралинское (Западная Сибирь), Дарасунское (Забайкалье), Калгурли (Австралия), Материнская Жила иГрэсс-Велли (США), а также ряд месторождений Канады, Ганы, Кении.

*Гидротермальные вулканогенные золото-серебряные месторождения* приурочены к вулканогенным породам областей молодого вулканизма. В рудных телах – жилах и штокверках – оруденение распределено неравномерно. Руды сложены халцедоноподобным кварцем, кальцитом, родохрозитом, баритом, сульфидами, содержат минералы серебра, серебристое золото, теллуриды золота. К данному типу относятся месторождения Балей, Тасеевское, Белая Гора (Забайкалье), Зодское (Армения), а за рубежом –Нагиаг (Румыния), Крипл-Крик, Комсток (США), Эль-Оро (Мексика), а также месторождения Чили, Перу, Новой Зеландии, Индонезии, Японии, Океании.

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

*Золотоносные россыпи* играют существенную роль в добыче золота. Основное значение имеют аллювиальные россыпи, меньшее – морские. Крупнейшими в мире являются Калгурли (Австралия), Ном и речные россыпи (Канада, Аляска), образованные при выветривании докембрийских пород. В России россыпи промышленного значения находятся в бассейнах рек Лены, Колымы, Алдана, Бодайбо, Енисея.

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

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

В *ликвационных медно-никелевых месторождениях* платиноиды образуют тонкую примесь в сульфидах – пентландите, пирротине, халькопирите – а также встречаются в виде самостоятельных минералов.

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

*Позднемагматические месторождения* представлены скоплениями платиноносных хромитов и рассеянной платиновой минерализацией в дунитовых интрузивах. Рудные тела имеют секущие границы, структура руд сидеронитовая. К данному типу относятся месторождения Нижне-Тагильское (Урал) и Лиденбург (ЮАР). Россыпи платиноидов принадлежат к элювиальному, делювиальному и аллювиальному типам. В аллювиальных россыпях содержание платиноидов изменяется от долей грамма до сотен граммов на 1 м3. Длина россыпей достигает нескольких десятков километров, ширина – до 300 м. Платиноносные россыпи известны в СНГ (Урал), Заире, Зимбабве, Эфиопии, Колумбии, США (Аляска).

**12.5** **Радиоактивные элементы**

1. Геохимия, минералогия и металлогения

2. Генетические типы промышленных месторождений

**1. Геохимия, минералогия и металлогения**

***Уран*** в периодической системе элементов Менделеева имеет порядковый номер 92, атомную массу 238,07 и является членом группы элементов, выделяемых в семейство актиноидов. Известно три природных изотопа урана: *238U* (99,2739 %), *235U* (0,7024 %) и *234U* (0,0057 %). Изотопы *238U* и *235U* – родоначальники двух радиоактивных родов. Естественный распад 238U заканчивается накоплением стабильного изотопа *206Pb*, а ряд *235U* – изотопа *207Pb*. Соотношения этих изотопов по достижении полного периода полураспада стабильны и используются для определения абсолютного возраста урановых руд. Кларк урана в земной коре 2,510-4%. Прослеживается закономерное его увеличение от пород ультраосновных (базитов) к основным (мезитам) и кислым (ок- ситам).

В эндогенных и экзогенных процессах уран по-разному ведет себя. Собственно магматические процессы завершаются образованием пород различного состава – кислого, среднего, основного, ультраосновного, щелочного, ультращелочного. Распространенность урана в них опре доляется прежде всего их химическим составом. Наибольшие концентрации отмечаются в щелочных и уль- тращелочных породах типа сиенитов и лопаритовых луявритов – (10–80)10-4 %. Уран, как и торий, изоморфно входит в состав сложных силикатов и титана- тов таких, как эвдиалит, лопарит, ферсманит и др. В породах кислого состава содержание урана составляет и среднем (3-4)10-4 %. Он накапливается как в виде примесей в акцессорных минералах (циркон, ортит, монацит, сфен, апатит и др.), так и в форме «подвижного» урана в микровключениях и межзерновых швах. На поздней стадии кристаллизации гранитной магмы, характеризующейся повышающимся окислительным потенциалом, уран переносится и отлагается нагретыми минерализованными водными растворами (гндротермами), циркулирующими по системе трещин и зонам повышенной проницаемости горных пород.

Ассоциация урановых минералов с карбонатами наиболее распространена в природных условиях. Довольно часто настуран ассоциирует также' с кварцем и флюоритом, что подтверждает присутствие в растворах ионов кремнезема и фтора. Интенсивность процессов миграции определяется климатом и физико-химическими параметрами приповерхностных вод: кислотно-щелочными свойствами (pH) и окислительно-восстановительным потенциалом (Eh).

В виде легкорастворимых комплексных соединений уран выщелачивается из коренных месторождений и горных пород и поступает в поверхностные водные растворы. Осаждение урана в зоне гипергенеза происходит на геохимических барьерах в зонах перехода от окислительной к восстановительной обстановке при изменении кислотно-щелочной среды.

В зависимости от обстановки выделяют геохимические барьеры разных типов: восстановительные, восстановительно-сорбционные, нейтрализационные кислотно-щелочные. Уран сорбируется органическим веществом (торфяники, гумус, разлагающиеся животные и органические остатки), углеводородами, фосфатами, глауконитом, глинами, гидроксидами железа и другими поверхностными продуктами, создавая основу для седиментного рудообразования. В процессе пластовой фильтрации урансодержащих вод на восстановительных барьерах формируются крупные урановорудные залежи, приуроченные к зонам пластового окисления с четко выраженной окислительно-вос- становительной зональностью. При метаморфизме отмечается уменьшение содержания урана с увеличением степени метаморфизма.

В природе, кроме собственно урановых, существуют и урансодержащие минералы тория, циркония, редких земель. Они существенно различаются по технологическим свойствам. Наиболее легко уран извлекается из собственных минералов – карбонатов и сульфатов, фосфатов, арсенатов, ванадатов и молибдатов. Это, как правило, вторичные минералы зоны гипергенеза, в которых уран присутствует в шестивалентной форме и легко переходит в раствор при обработке, слабыми растворами кислот и соды. Хорошо извлекается уран из руд, представленных основными урановыми минералами – настураном и урановыми чернями. Более устойчивыми к процессам выщелачивания являются коффинит и особенно браннерит. Очень трудно уран извлекается из урансодержащих минералов.

Урановые месторождения различных гинетических типов известны на всех континентах. Закономерности их размещения и условия формирования определяются историей геологического развития земной коры. Урановорудные месторождения отличаются разнообразием геотектонической позиции, широким временным диапазоном от докембрия до четвертичного периода и многообразием факторов, определяющих их генезис.

В фундаменте древних платформ благоприятными для формирования крупных месторождений являются протогеосинклинальные складчатые пояса; крутые эпи- и перикратонные впадины, выполненные слабометаморфизованными толщами молассоидных, пролювиальных, аллювиальных и дельтовых фаций; области тектоно-магматической активизации. В пределах геосинклиналыю-складчатых поясов промышленные урановые месторождения возникают на орогенном этапе их развития и относятся преимущественно к гидротермальному классу. Они ассоциируют со сложными комплексами континентальных вулканических и вулкано-интрузивных образований, принадлежащих к различным контрастно дифференцированным сериям, в которых преобладают три группы пород: основные – средние, средние-кислые и кислые-субщелочные разности.

В соответствии с «магматическим профилем» урановых рудных провинций проявляется и их металлогеническая специализация. Наиболее благоприятными для формирования промышленно важных урановых месторождений являются срединные массивы. В них формируются крупные интрузивы гранитоидов с повышенными содержаниями таких элементов, как *U, Th, Mo, Pb, Zr, Be, Р*, типо- морфных для урановых руд. В обрамлении срединных массивов особый интерес представляют палеозойские углеродисто-кремнистые сланцы («черные» сланцы), обогащенные ураном, фосфором, ванадием, никелем, свинцом, серебром и другими элементами. Содержание этих элементов в «черных» сланцах превышает их содержания в одно-возрастных породах другого состава в 10 – 20 раз. Крупные урановые месторождения формируются и в осадочных породах платформенного чехла. Наиболее промышленно важными являются инфильтрационные месторождения в песчаниках.

Известны месторождения в глинах с костными остатками ископаемых рыб, в калькретах, в угольных пластах и торфяниках. Благоприятная обстановка для формирования урановорудных полей и месторождений определяется сочетанием различных геологических факторов таких, как тип земной коры, ее мощность и строение, геотектонический режим развития, наличие глубинных разломов, геохимическая и металлогеническая специализация пород. Основные урановорудные провинции приурочены к участкам земной коры континентального типа нормальной мощности с преобладанием гранитного слоя (15 – 25 км) по отношению к базальтовому (10 – 20 км).

Благоприятными являются блоки с гетерогенным глыбово-блоковым строением и устойчивым тектоническим режимом воздымания. Важную роль для уранового рудообразования имеют зоны глубинных разломов с длительной историей геологического развития. Большинство крупных урановорудных провинций приурочено к районам, где есть осадочные, магматические или метаморфические породы с повышенными содержаниями урана. Анализ пространственного размещения урановорудных полей и месторождений в пределах различных геотектонических блоков земной коры позволил выявить ряд присущих всем им закономерностей.

Наиболее общей региональной особенностью размещения крупных урановых месторождений является их локализация в урановорудных районах и провинциях, часто образующих в совокупности протяженные урановые пояса. Урановорудные металлогенические пояса хорошо проявлены в пределах Северо-Амери- канской и Австралийской древних платформ, в пределах геосинклинально-складчатых областей. Они объединяют месторождения, различные по генезису и времени образования.

***Торий*** открыт в 1828 г. И. Берцелиусом при изучении радиоактивных сиенитов Норвегии в минерале торите. Мировое производство тория ограничено сравнительно небольшими современными потребностями. Основным носителем тория является монацит из россыпных месторождений, которые разрабатываются для получения титана, циркония, олова, редкоземельных элементов. В результате селективной флотации может быть получен монацитовый концентрат с содержанием монацита более 75 %, а при дальнейшем обогащении он может быть доведен до более чем 90 %.

Торий по свойствам близок к другим актиноидам и элементам своей группы *Ti, Zr, Hf.* В природных соединениях всегда четырехвалентный. Оксид тория *ThO2* обладает жаропрочностью, трудно растворим, температура плавления 3220 °С. Торий, как уран и редкоземельные элементы, образует в природе оксиды, силикаты, титанотанталониобаты, фосфаты, карбонаты. Близость ионных радиусов способствует широкому проявлению в эндогенных условиях изоморфизма между торием, редкоземельными элементами, иттрием и ураном. Поэтому все высокотемпературные редкоземельные акцессорные минералы (монацит, ортит, титанотанталониобаты) обогащены торием и ураном (до 12 – 15% диоксида тория). По мере снижения температуры в постмагматический этап происходит разделение урана и тория с группой редкоземельных элементов. Последние накапливаются в щелочных комплексах пород.

Общий кларк тория 1,5×10-3 %, а концентрации в различных породах земной коры изменяются в широких пределах, прежде всего в зависимости от их петрохимического состава. В целом четко прослеживается нарастание среднего содержания тория от ультраосновных к кислым породам.

Особенно заметно содержание тория возрастает в породах щелочного ряда – до 6,5×10-3%. Наиболее благоприятными для накопления тория в группе изверженных интрузивных пород являются карбонатиты, сиениты и другие щелочные породы, щелочные граниты1. В отдельных разностях пород этого типа содержание тория возрастает до нескольких процентов (Араша, Посус-ди-Калдас в Бразилии). В изверженных породах торий концентрируется в виде ториевых или торийсодержащих минералов, последних в природе гораздо больше. Они устойчивы в зоне окисления и в экзогенных условиях накапливаются в россыпях. Главные урановые и урансодержащие минералы: торианит; торит; ферриторит; эшинит; приорит; монацит. Наиболее высокие содержания *ThO2* в торианите (от 58 до 93 %), в урансодержащих минералах его содержание меняется от первых процентов до 25 (в монаците).

В пределах древних платформ при тектонической активизации формируются наиболее крупные торийсодержащие месторождения, связанные с карбонати- тами и кислыми щелочными породами. В складчатых областях концентрации тория приурочены к магматическим, высокотемпературным метасоматитам и гидротермальным комплексам, ассоциирующим с щелочной ветвью изверженных пород, завершающих геосинклинальный цикл развития.

В платформенных условиях формируются крупные торийсодержащие россыпи. Наиболее благоприятным источником монацита в таких россыпях являются широко распространенные на древних щитах монацитоносные мигматиты. Они не имеют самостоятельного значения, но важны как обширные области сноса для формирования торийсодержащих россыпей. Большинство ториеносных формаций щелочных пород и связанных с ними месторождений различных типов приурочены к жестким блокам земной коры, претерпевшим тектоническую или тектоно-магмати- ческую активизацию. Формирование щелочных и ультраосновных щелочных комплексов пород связывают с подкоровыми источниками рудного вещества. Высокотемпературные метасоматические формации, субщелочные граниты и гидротермальные жилы с ториево-редкоземельной минерализацией являются продуктами дифференциации корового вещества

**2. Генетические типы промышленных месторождений**

Отличительной особенностью урановых месторождений является разнообразие условий их формирования. Выделяются месторождения эндогенной серии (позднемагматические, карбонатитовые, гидротермальные), экзогенной серии (седиментационно-диагенетические, инфильтрационные), метаморфогенной серии и полигенные.

***Месторождения эндогенной серии.***

***Позднемагматические месторождения.*** Относительно редки и связаны с пегматоидными образованиями кислых и щелочных магм, представленных аляскитовыми гранитами и карбонагитами. К магматогенным относят месторождения уранини- товой формации'в аляскитовых гранитах. Типичным представителем является месторождение Россинг в Намибии. Пространственно оно ириурочено к Дамарской складчатой зоне Южно-Африканской платформы. Месторождение представляет собой комплекс раннепалеозойских пегматоидных пород, инъецирующих гнейсы, сланцы и мраморы позднего докембрия. При крупных запасах содержание урана в рудах невысокое (0,03 – 0,06 %). Оруденение в виде равномерной вкрапленности приурочено к аляскитам, образующим сложные крутопадающие тела, состоящие из кварца, микроклина и небольшого количества биотита. Выделены две зоны рудоносных аляскитов шириною около 1 км, залегающие согласно с простиранием вмещающих пород. Они прослежены по простиранию более чем на 3 км. Первичные руды представлены аляскитами с мелкой (до 0,1 мм) вкрапленностью уранинита, бетафита и браннерита. В зоне окисления преобладают минералы шестивалентного урана типа бета-уранофана. Зерна урановых минералов образуют включения в кварце, полевом шпате и биотите, развиваются, но мелким трещинкам, с радиоактивными минералами обычно ассоциируют циркон, монацит, апатит, сфен, флюорит, реже встречаются сульфиды, магнетит и гематит. Формирование месторождения связывают с анатектической переработкой материнских пород, изначально обогащенных ураном. По ослабленным зонам земной коры из мантийных глубин поступали тепловые потоки, происходило расплавление вмещающих пород и перемещение в вышележащие толщи. Глубинные ювенильные потоки обогащены водой и калием, уран мог заимствоваться из докембрийских пород фундамента.

Модельный возраст вкрапленников уранинита определен в 510±40 млн лет. Месторождение разрабатывается открытым способом, что обеспечивает высокую производительность карьера с годовой добычей урана 2,0-3,0 тыс. т, т. е. 5,4 % мировой добычи урана. Своеобразным месторождением в карбонатитах является Палабора (ЮАР, район Трансвааля). Это крупнейшее медное месторождение, где уран, несмотря на низкие содержания   
(0,001 –0,01 %), в течение ряда лет является объектом попутной добычи. Месторождение приурочено к многофазному кольцевому интрузиву ультраосновных и щелочных пород. Наиболее ранним является трубообразное тело пирок- сенитов; более поздние комплексы пород представлены сиенитами, рудными полосчатыми карбонатитами с апатитом и безрудными карбонатитами. Возраст пород комплекса определен в 2050 млн лет.

Минеральный состав руд весьма разнообразен: апатит, магнетит, титаномагнетит, халькопирит, борнит, кубанит, халькозин, пирротин, пент- ландит, миллерит, бравоит и другие минералы. Главный урановый минерал – ураноторит. Кроме основного компонента – меди из руд попутно извлекаются уран, золото, серебро и платиноиды.

***Гидротермальные месторождения***. Объединяют большую группу промышленно важных месторождений с разным составом руд, околорудных метасоматитов, вмещающих пород. Они существенно различаются и по структурам рудных полей и месторождений. Это – продукты химического и энергетического взаимодействия восходящих горячих водных растворов с боковыми породами, а также поровыми и трещинными водами окружающего пространства. Рудоотдожение происходит при насыщении и пересыщении восходящих потоков растворов рудными и сопутствующими компонентами с последующим их выделением на геохимических барьерах и в структурных ловушках на пути миграции. Все эти факторы определяют разнообразие выделенных типов гидротермальных урановых месторождений.

*Месторождения урановой и железо-урановой формации в альбититах*. Месторождения располагаются в районах древних плаформ, претерпевших тектоно-магматическую активизацию в конце протерозоя. Вмещающие породы представлены глубоко метаморфизованными раннепротерозойскими отложениями древних платформ. Процессы метаморфизма сопровождались мощной гранитизацией и переработкой вмещающих пород в конце раннего протерозоя (1900–1700 млн лет), интенсивным ультраметаморфизмом, щелочным метасоматизмом и проявлением наиболее ранних эндогенных месторождений урана. Главными геологическими элементами, определившими условия их формирования и пространственное положение, были крупные линейные зоны глубинного заложения. К ним приурочены ураноносные альбититы Канадского (Биверлодж), Индийского (Джадугуда), Бразильского (Итатая) щитов, Украинского кристаллического массива. Пространственное положение месторождений в Украинском кристаллическом массиве определяет крупная Кировоградско-Черкесская мобильная зона субмеридионального простирания, возникшая в результате переработки пород архейского кристаллического фундамента.

К зонам альбитизации и карбонатизации пород приурочены основные урановые месторождения. В зависимости от состава пород, степени их метаморфизма и минерального состава руд выделяются два типа месторождений: I) собственно урановые альбититовые и 2) железо-урановые. Помимо краевых глубинных разломов месторождения в альбититах известны и в пределах гранитного купола, вдоль зон меридионального и северо-восточного направлений.

Месторождения первого типа образуются в обстановке, когда процессы карбонатно-натриевого метасоматоза накладываются на породы силикатного состава типа гранитоидов. Если же процессы альбитизации охватывают породы железорудной формации (железистые кварциты), то возникают месторождения второго типа. Породы железорудной формации мегаморфизова- ны в амфиболитовой фации, а породы силикатного состава формируются в процессе ультраметаморфизма, проявлявшемся в гранитизации исходных пород.

*Собственно урановые месторождения* в альбититах залегают в породах, представленных гранитизированными амфиболовыми и слюдяными сланцами, кварцитами, мраморами и гнейсами амфиболитовой ф^ции метаморфизма. Интенсивное проявление процессов гранитизации привело к появлению характерного переслаивания гнейсов, мигматитов и гранитов с расплывчатыми контактами и постепенными переходами от одних разностей пород к другим. Граниты и мигматиты образовались в связи с процессами протерозойской гранитизации метаморфических пород. По составу выделяются два типа гранитоидов: плагиоклазовые, формировавшиеся по диабаз-спилито- вой и офиолитовой формациям архея, и микроклиновые, развивавшиеся по породам осадочно-терригенных формаций. Микроклиновые граниты отличаются повышенными содержаниями урана, свинца и тория, обогащены щелочами, преимущественно калием. Содержание урана в анатектических гранитах составляет (6–9,6)×10-4 %, общее содержание щелочей (*K2O + Na2O*) – 6 – 8,5%, при этом *K2O: Na2O* = 1,5-1,9. С гранитами, имеющими подобное отношение К и Na, пространственно связаны натриевые метасоматиты.

Положение месторождений контролируется разломами крупных зон глубинного заложения, ограничивающих гранитный купол, находящийся в центральной части мобильной зоны с востока и запада. Зоны разломов формировались в течение длительного времени, начиная от раннего протерозоя. Заложение их сопровождалось образованием мигматитов и бластомилонитов. Процессы более поздней активизации обусловили образование многочисленных милонитомых швов и зон катаклаза, сопровождаемых метасоматическими изменениями пород. Милониты и катаклазиты развиваются, как правило, вдоль наиболее древних бластомилонитовых швов, имеют мощность десятки метров и особенно интенсивно проявлены среди мигматитов и гранитов, замещающих гнейсы. В тектонических зонах, представленных полосами измененных пород шириной до нескольких десятков метров, выделяются главный тектонический шов с милонитами и брекчиями и оперяющие разрывные нарушения. Типоморфным минералом метасоматических измененных пород является альбит. Альбититы широко распространены вдоль тектонических зон и оперяющих трещин, слагают мелкие и крупные тела (в десятки и сотни метров). Они группируются в крупные зоны протяженностью в десятки километров, прослеженные до глубины 2,5–3 км.

К альбититам приурочено урановое орудепение. В строении зон альбитизированных пород установлена определенная зональность. Она выражается в последовательном замещении исходных'минералов вмещающих пород – плагиоклаза, кварца и биотита – альбитом. В зависимости от состава вмещающих пород в промежуточных зонах Mогут формироваться рибекит, сн'ирин, хлорит или эпидот. Наиболее отчетливо процессы альбитизации проявлены в гранитах, хуже – в гнейсах и кристаллических сланцах, что объясняется повышенной проницаемостью гранитов. Все известные в районе урановые месторождения приурочены к зонам альбититов, но далеко не все альбититы, развитые в районе, ураноносны. Их наличие – благоприятная, но не единственная предпосылка для образования промышленных концентраций урана. Важное условие накопления урановой минерализации – крупные проницаемые зоны катаклаза в долгоживущих разломах, благоприятное сочетание складчатых и разрывных дислокаций (изгибы, участки сопряжений), их механическая гетерогенность (различная степень проницаемости).

Рудные залежи имеют сложную изменчивую форму, нечеткие контуры, их границы определяются только по результатам опробования. Наиболее широко распространены рудные залежи в виде уплощенных линз и столбообразных штокверков. В пределах рудоносной зоны альбититов они залегают кулисообразно. Размеры отдельных залежей по падению, как правило, в 2 – 3 раза больше, чем по простиранию; мощность их изменяется в широких пределах – от нескольких метров до 50 м, чаще 10 – 15 м; содержание урана колеблется от 0,07 до 0,2 %, в среднем составляет около   
0,1 %. Руды прожилково-вкрапленного типа. Минеральный состав руд довольно разнообразный и сложный. Выделяются почти все минеральные модификации урана. Наиболее часто встречаются ура- нотитанаты, реже – уранинит, ненандкевит, настуран и коффинит. По составу уранотитанаты близки к давидиту, но содержат кремний, железо, алюминий, и кальций. Они наблюдаются в виде тонкорассеянной вкрапленности (размеры выделений сотые доли миллиметра) в ассоциации с хлоритом, карбонатом и гематитом. Уранинит и настуран, кроме тонкорассеянной вкрапленности, слагают прожилки с карбонатами и гематитом.

***Железо-урановые месторождения*** возникли после наложения карбонатно-щелочного метасоматоза на железистые кварциты. Они залегают в железистосланцевых породах нижнего протерозоя и приурочены к глубинному разлому, ограничивающему мобильную зону на востоке рассматриваемой территории. Своеобразие месторождений этого типа заключается в приуроченности урановорудных тел к залежам магнетитовых руд, их субсогласном залегании с вмещающими породами, интенсивно измененных в ходе процессов щелочного и карбонатного метасоматоза. Урановые месторождения приурочены к железистым и алюмосиликатным породам, смятым в сложные синклинальные складки с флексурными изгибами. Участки интенсивного проявления складчатости осложнены разрывными нарушениями, а породы изменены процессами карбонатного и натриевого метасоматоза. Такие благоприятные участки определяют пространственное положение железо-урановых месторождений, тяготеющих к участкам центриклинального замыкания узкой синклинальной складки или к крупным флексурным изгибам пород продуктивной серии, которые прослеживаются как по простиранию, и по падению пород. Железорудные залежи представлены пласто-, линзо- и столбообразными телами амфибол-магнетитового и карбонат-магнетитового состава, локализующимися в железистых роговиках, джеспелитах и сланцах.

***По минеральному составу и текстурам различают три типа урановых руд: уранинит-магнетитовый, непадкевит-альбитовый и настуран-коффинитовый.***

*Уранинит-магнетитовые руды* представлены тонкорассеянной вкрапленностью уранинита (0,001 – 1 мм) н доломите и эгирине, ассоциирующего с магнетитом. Уранинит в тесном срастании с гематитом окружает относительно более крупные зерна мартитизированного магнетита. Для руд характерна полосчатая текстура, унаследованная от магнетитовых руд.

В *ненадкевит-альбитовых рудах* главный уранопый минерал – ненадкевит – слагает мелкие прожилки, гнезда или тонкорассеянную вкрапленность (0,001–0,1 мм) в мелкозернистых альбититах, в состав которых в небольшом количестве входят эригин, ри- бекит, хлорит, кальцит, гематит. Кроме ненадкевита отмечены браннерит и уранинит. Руды этого типа формируют промышленные залежи урановых руд силикатного типа.

*Настуран-коффшштовые руды* локализуются в карбонатных или натриевых метасоматитах. Для них типичны прожилковые и брекчиевые текстуры. Встречаются достаточно часто, но в ограниченных количествах и самостоятельного промышленного значения не имеют.

Месторождения двух выделенных типов имеют общий генезис и отличаются лишь тем, что метасоматиты железо-урановых месторождений развивались по породам железорудной формации, а собственно урановых месторождений – по силикатным породам гранитоидного состава.

В настоящее время существуют три концепции их формирования: метаморфогенная, гидротермальная постмагматическая и метеорно-ювенильная. По совокупности имеющихся данных определения абсолютного возраста вмещающих пород и урановых руд, изотопных анализов кислорода и углерода, наиболее убедительной представляется концепция о формировании урановых месторождений в связи с процессами протерозойской тектоно-магматической активизации древних платформ. Вероятным источником металла могли быть комплексы древних пород, обогащенные ураном.

***Месторождения урановой, золото-урановой и никель-урановой формации*** в магнезиальных метасоматитах. Впервые выявлены в 70-х гг. XX в. в пределах докембрийских щитов Австралии и Канады. В геологической литературе получили название урановых месторождений несогласия. Обладают большими запасами высокосортных урановых руд (более 25% мировых запасов урана капиталистических и разивающихся стран), иногда ассоциирующих с золотом или никелем. Несмотря на пространственную разобщенность урановых месторождений Австралии и Канады, в их строении и условиях образования отмечено много общего, что позволило объединить эти объекты в единую группу. На всех месторождениях достаточно четко проявлена рудоконтролирующая роль крупных геологических несогласий между верхними формациями геосинклинального структурного этажа и залегающими на их эродированной поверхности протерозойскими отложениями платформенного чехла.

***Месторождения золото-урановой формации в калиевых метасоматитах (гумбеитах).*** Месторождения этого типа расположены в докемб- рийском фундаменте центральной части Алданского щита в области развития кольцевых структур и разнонаправленных долгоживущих разломов. Породы фундамента с ранней юры испытали интенсивную текто- но-магматическую активизацию. Она проявилась в интенсивном магматизме, формировании горстообразных поднятий, небольших впадин, заполненных маломощными песчано-глинистыми и вулканогенными отложениями юрского возраста, а также в активной гидротермальной деятельности. Все урановые месторождения приурочены к крупным разломам в породах фундамента, подновленным в период тектоно-магматической активизации.

***Месторождения урановой формации в пиритизированных углеродистых сланцах, алевролитах и песчаниках.*** Месторождения этой формации, выделяемые как месторождения жильного типа, широко развиты во многих срединных массивах и, прежде всего, в Чешском и Французском. На территории Чехии – это крупные жильные месторождения Пршибрам, Яхи- мов; в Германии – Шлема Альберода; во Франции – Буа-Ниар и др.

***Месторождения фосфор-урановой формации в эйситах и молибден-урановой в березитах*** Месторождения этих близких по геологическому строению месторождений широко проявлены в пределах Кокчетавского срединного массива на территории Северного Казахстана. К ним относятся Грачевское, Косачиное, Заозерное, Маныбай, Восток, Звездное, Ишимское и др.

*Молибден-урановая формация* включает большое количество мелких и средних месторождений. Их объединяет ряд устойчивых геологических особенностей: 1) пространственная и парагенетическая связь с комплексами пород андезит-диоритовой и гранит-ли- паритовой магматических формаций континентального позднеорогенного вулканизма в пределах геосинклинально-складчатых областей; 2) штокверковое внутреннее строение рудных тел различной морфологии с прерывистым и весьма прерывистым распределением рудных компонентов; 3) устойчивая пространственная и генетическая связь уранового оруденения с различными фациями ме- тасоматической формации березитов; 4) оксидно-силикатный состав урановых минералов (коффинит, настуран, уранинит) в ассоциации с сульфидами молибдена, железа, свинца, меди, мышьяка и других тяжелых металлов.

Среди минералов молибдена развиты молибденит и иордизит, имеющие на многих месторождениях промышленное значение. Установлена вертикальная минеральная зональность, в которой на верхних горизонтах месторождений проявились пирит-настурановые и галенит-настурановые минеральные типы руд, а на нижних – молибденит-настурановые с коффинитом. Время образования наиболее крупных среди рассматриваемых месторождений в истории формирования фанерозойских складчатых областей относится к заключительным стадиям орогенного этапа эволюции. Андезит-диоритовый и гранит-липаритовый магматические комплексы поздних стадий орогенеза наиболее близки по возрасту к месторождениям молибден-урановой формации.

Урановые месторождения сосредоточены в крупных геоантиклинальных блоках и залегают в породах как нижнего структурного яруса геосинклинального цикла развития, так и орогенного структурного этажа фанерозойских складчатых областей. Рудовмещающими породами нижнего структурного этажа являются кремнистые, глинисто-кремнистые сланцы и песчаники флишоидной терригенно-осадочной формации. В пределах орогенного структурного этажа месторождения локализуются в слоистых толщах тектоно-вулка- нических депрессий и в субвулканических интрузиях.

Формирование урановорудных полей и месторождений во многом определяется магматической деятельностью. Обычно она проявляется многофазно, продуцируя структурно-сопряженные тела различных фаций. Магматические фации объединяют породы, образовавшиеся в определенной геологической обстановке. Выделяются эффузивная, жерловая, субвулканическая, интрузивная и дайковая фации. В эффузивной фации различают покровную и экструзивную субфации. Устанавливается пространственная и парагенетическая связь молибден-урановых месторождений с по- лифациальными многофазными гипабиссальными магматическими комплексами, завершающими магматизм гранит-липаритовой формации.

По условиям локализации оруденения различают три группы урановых месторождений: в зонах влияния крупных разломов; в субвулканических интрузивах; в сложных слоистых покровах вулканических депрессий.

***Месторождения флюорит-урановой формации в аргиллизитах.*** Наиболее хорошо разведаны и изучены в пределах Стрельцовского урановорудного района. Такие объекты известны и на смежных территориях в Монголии и Китае. Стрельцовское рудное поле расположено в краевой части Урулюнгуевского срединного массива в пределах Монголо-Приаргунского вулканического пояса. В течение длительного времени, начиная с протерозоя, срединный массив развивался в режиме устойчивого воздымания. Активное развитие процессов гранитизации сопровождалось привносом в верхнюю часть земной коры большого количества калия, урана, тория, титана. Крупные сводовые поднятия и гранитогнейсовые купола являются типоморфными структурами фундамента.

Урановые месторождения сформировались в результате интенсивных процессов позднемезозойской тектоно-магматической активизации и приурочены к вулкано-тектонической депрессии кальдерного типа (депрессии проседания). Периферия депрессии ограничена дугообразными разломами кальдеры, которые определяют границы площади рудного поля. В стратиграфическом разрезе выделяется два структурных этажа. Нижний сложен гнейсовидными крупно- и среднезернистыми гранитами с ксенолитами древних кристаллических сланцев и мраморизо- ванных известняков. Фундамент претерпел длительную эволюцию, завершившуюся формированием поднятия в раннем палеозое.

***Месторождения урановой формации в углеродисто-кремнистых («черных») сланцах.*** В углеродисто-кремнистых сланцах сосредоточены огромные запасы урана, но промышленные месторождения собственно урановых руд довольно редки и возникают при благоприятном сочетании стратиграфических, литологических, структурных, магматогенных и гидрогеологических факторов. Наибольший промышленный интерес представляют месторождения Роннебургского рудного поля (Германия) в геосинклинальных отложениях палеозойской складчатой области в обрамлении Чешского срединного массива. В стратиграфическом разрезе рудного района выделяют два структурных этажа: 1) геосинклинальный и орогенный (О-Р,); 2) платформенный (P2-Q); породы кристаллического фундамента не вскрыты. Общая мощность отложений геосинклинального структурного этажа составляет около 2000 м, платформенного – около 700. Рудное поле приурочено к области пересечения двух крупных зон глубинных разломов. Это проявилось в интенсивной тектонической проработке вмещающих пород, в образовании сложных складчатых деформаций, развитии надвигов и шарьяжей.

Характерная особенность стратиграфического разреза – гетерогенность состава вмещающих толщ и наличие горизонта пород углеродистой формации с повышенным содержанием урана – от 25 до 60 г/т. Среди пород продуктивной толщи, имеющей общую мощность около 450 м, снизу вверх выделяются: 1) известково-алевролитовые сланцы с пиритом верхнего ордовика, слабо водопроницаемые, контакт с ними представляет собой водоупорную поверхность для растворов вышележащих толщ; 2) углеродисто-кремнистые и углеродисто-глинистые сланцы нижнего силура с прослоями доломитов, хрупкие, водопроницаемые, с повышенной восстановительной емкостью; 3) кремнистые углеводородсодержащие сланцы и известняки нижнего и среднего девона со средней водопроницаемостью.

**Экзогенные месторождения.**

Месторождения этой серии дают около половины мировых запасов, и ежегодно добыча руд из них возрастает. О н и широко распространены на всех континентах и во многих странах мира: на территории Северной Америки (Колорадско-Вайомингская рудная провинция), в западной части Аргентины, вдоль восточных предгорий Анд, в Нигерии (Мали-Нигерийская рудная провинция), в пределах Средне-Чешского и Центрально-Французского срединных массивов, на территории Мексики, Канады, Австралии, Италии, Югославии, Венгрии, Японии. Крупные запасы урана разведаны на территории Казахстана и Узбекистана – Чу-Сарысуйская, Сыр-Дарьинская, Кызыл-Кумская и другие рудные провинции.

Ценность месторождений в отложениях платформенного чехла не только в их широкой распространенности, но и в благоприятных технологических свойствах руд. Уран из руды обычно легко выщелачивается разбавленными кислотами или содовыми растворами. Важным экономическим фактором освоения многих месторождений в песчаниках является возможность применения при их отработке метода подземного выщелачивания (ПВ) в естественном залегании рудных залежей, что обеспечивает низкую себестоимость конечного продукта. Благодаря внедрению скважинного метода ПВ в отработку вовлекаются бедные руды с весьма низкими содержаниями урана. На большинстве рассматриваемых месторождений рудные тела имеют простую пласто- и линзообразную форму и обычно залегают согласно с вмещающими породами. Месторождения урана чехла древних и молодых платформ в литературе объединяются под названием «месторождения песчаникового типа».

***Месторождения селен-ванадий-урановой формации в песчаниках.*** Месторождения этой группы являются важным поставщиком урановых руд и известны практически на всех континентах. Их геологическое положение определяется благоприятным сочетанием климатических, гидрогеологических, литолого-фациальных и тектонических условий. Климатический фактор играет важную роль в формировании вод, обогащенных кислородом и ураном.

Такие условия возникают в областях с аридным климатом. Отсутствие в аридных областях сплошного растительного покрова и крайне низкое содержание органического вещества в почвах благоприятствует обогащению подземных вод кислородом, так как он не расходуется на окисление органического вещества. Интенсивное испарение приводит к повышению концентраций содержания урана в водах до п-10-5 г/л, что на один-два порядка выше, чем в водах гумидных областей. Оба фактора в совокупности создают условия для накопления и миграции урана в форме уранил- карбонатных комплексов. Кроме того, в районах с засушливым климатом уровень грунтовых вод значительно ниже, чем в гумидных областях. Это способствует тому, что обогащенные ураном трещинные фунтовые воды проникают в водоносные горизонты артезианских бассейнов и не рассеиваются, вытекая в поверхностные водотоки.

Большинство рудных районов приурочено к артезианским бассейнам инфильтращюнного типа, где нисходящие потоки подземных пластово-поровых вод в верхней части разреза контактируют с фунтовыми водами и несут растворенный кислород. Распространяясь по проницаемым пластам песчаников, эти воды формируют зоны пластового окисления протяженностью в десятки и сотни километров.

***Месторождения урановой формации в калькретах.*** Месторождения, объединенные в эту группу, выявлены и разведаны в последние 10 – 15 лет в Австралии (Йилирри и др.), Намибии (Лонгер-Хейнрих), Сомали и других регионах. Они выделяются как месторождения близповерхностных первичных слюдковых руд и приобретают все большую практическую значимость благодаря неглубокому залеганию рудных тел, их простой морфодогии и дешевому извлечению урана из руд. Рудные минералы, представленные преимущественно карнотитом, развиты в своеобразных карбонатных (калькреты, каличе) или гипсовых (гипкре- ты) породах, слагающих тела плитообразной формы в почвах и аллювиальных отложениях аридных климатических провинций. Эти породы возникают в приповерхностных условиях в засушливых районах в результате испарения грунтовых вод, выносящих на поверхность карбонаты и сульфаты. Они отличаются высокой пористостью, кавернозностью и потому благоприятны для миграции приповерхностных вод.

Становление урановых месторождений в калькре- тах связано с накоплением аллювиальных отложений в долинах рек, происходившим, начиная с плиоцена. В условиях аридного климата получили широкое развитие конусы выноса и соляные озера. Вдоль речных систем, в речных долинах или по краям соляных озер образовались калькреты. Осадочный материал русловых отложений представлен аллювием, эвапоритами и калькретами. Русловый аллювий различается по минеральному и гранулометрическому составу и состоит из глин с обломками кварца и полевого шпата, суглинков и песков. Поверхностный слой аллювия сцементирован кремнеземом или карбонатным материалом. Эвапориты появляются в глинистых отложениях конусов выноса и соляных озер, представлены сульфатами и хлоридами – гипсом, целестином и галитом.

**Метаморфогенные месторождения.**

Наиболее крупные месторождения этой урановорудной формации развиты в южном обрамлении Трансваальского массива (район Витватерсранд, ЮАР), в южной части Канадского щита (район Эллиот-Лейк), в обрамлении массива Сан-Франциско на Бразильском щите (районы Железный Четырехугольник, Жакобино и др.), в массиве Шейю (Франсвильский район, Габон). Месторождения пространственно тяготеют к жестким массивам – кратонам, сложенным глубоко метаморфизованными породами архея. В их обрамлении, в краевых частях эпикратонных впадин, заполненных платформенными осадками, расположены месторождения ураноносных конгломератов. Они приурочены к основанию или нижней части мощных осадочных и осадочно-вулканогенных серий пород, залегающих с резким несогласием на гранитогнейсах и зеленокаменных породах архея и протерозоя. Их формирование происходило в интервале от 2,8 до 2 млрд лет до нашего времени. Толщи всех месторождений имеют сходный состав; конгломераты, как правило, залегают согласно с аркозовыми и полимиктовыми песчаниками и характеризуются высокой степенью сортировки обломочного материала, равномерной и сравнительно невысокой концентрацией рудных компонентов, включая уран, находящихся в цементе. Метаморфизованы конгломераты в зеленосланцевой фации.

***Типы промышленных месторождений тория.*** В настоящее время основная добыча тория идет из монацита россыпных месторождений, которые эксплуатируются прежде всего на титан, цирконий, олово, редкоземельные элементы. Монацит отделяется от других тяжелых минералов (ильменита, рутила, граната, циркона, магнетита) в процессе селиктивной флотации. Наиболее важными поставщиками монацита являются прибрежно-морские пляжевые отложения. Кроме монацита они содержат ильменит, рутил, циркон, касситерит, хромит и др.; реже встречаются торит, ураноторит и ураноторианит.

Монацит имеет удельную массу от 4,8 до 5,5 г/см3 и содержит тория от 8,8 до 10,5 %, редко до 25 %. Он принадлежит к легкой фракции тяжелых минералов и ассоциирует с ильменитом, рутилом, цирконом, магнетитом, гранатом и силлиманитом. Пляжевые россыпи наиболее крупные по размерам. Они прослеживаются на сотни километров в длину при ширине в несколько километров и объединяют около 20 % мировых ресурсов тория.

К прибрежно-морским россыпям относятся месторождения Керала в Индии, Северо-восточной Бразилии, Северной и Южной Каролины в США. Самые крупные прибрежно-морские россыпи протягиваются вдоль западного берега Индии в штате Керала. Они были основным поставщиком тория с начала этого столетия. Источником монацита были мигматиты, претерпевшие глубокое латеритное выветривание с последующей природной сортировкой тяжелых минералов в прибрежно- пляжевых песках. Общие ресурсы монацита оцениваются в 4 млн т с содержанием тория 7 – 9,2 %. Важным промышленным типом месторождений тория могут быть кварцево-галечные древние конгломераты, где торий можно получить как побочный продукт при разработке их на уран и редкие земли. Основные минералы здесь – обломочный монацит, уранинит, ураноторианит, ураноторит, ксенотим, браннерит. Минералы находятся в цементе хорошо сортированных конгломератов в базальных горизонтах эпи- и перикра- тонных впадин. Конгломераты с урановой и ториевой минерализацией залегают в виде слоев в древних породах архейского возраста. Представителями этого типа месторождений являются Эллиот-Лейк в Канаде, Сьерра-де-Жакобина в Бразилии и др.

В распределении ресурсов тория по типам месторождений ведущее место занимают карбонатиты (40 % от общего количества ресурсов), жильные месторождения (31), россыпи (19), щелочные интрузивы (4), кварцево-галечные конгломераты (4), другие (2).

***Карбонатиты*** относят к породам щелочно-ультра- основного ряда. Они отличаются низким содержанием кремния и высоким – карбонатов (50 %), содержат минералы редких земель, тантала, ниобия, титана, меди циркония, тория. Торий в карбонатитах входит в состав ниобиевых и редкоземельных минералов и может извлекаться как побочный продукт при разработке ниобиевых, редкоземельных и медных руд. Крупными месторождениями этого типа являются Араша в Бразилии, Маунтин-Пасс в Калифорнии, Палабора в ЮАР.

***Пневматолито-гидротермальные и гидротермальные руды жильного типа*** объединяют большие запасы тория с высоким его содержанием. Рудные тела различаются составом жильного выполнения: кварцево-шелочно-полевошпатовые, кварц-баритовые, барит-флюоритовые, кальцитовые, аппатит-кварцевые. Главные ториевые и торийсодержащие минералы – монацит, торит и ура- ноторианит. Кроме того, торий накапливается в акцессорных минералах и в связи с оксидами железа. Характерный представитель гидротермальных жильных месторождений – Лемхи-Пасс в США и др. Содержание диоксида тория меняется от 0,1 до   
0,75 %. Щелочные интрузивные комплексы включают типичные сиениты и породы щелочного семейства, обогащенные торием на уровне 0,003 – 0,01 %. Однако отдельные разности щелочных пород в Бразилии и нефелиновых сиенитов Гренландии содержат высокие концентрации тория (соответственно до 2 и 0,45 %). С альбит-кварц-микроклиновыми метасоматитами в интрузиве субщелочных сиенитов связано крупное редкометальное месторождение Улуг-Танзек (Тува, Россия). Основные рудные минералы представлены пирохлором, колумбитом, малоконом, ферриторитом. С ферриторитом связано 70 % запасов тория, а среднее содержание тория в породах массива 0,084 %.

**12.6** **Рассеянные элементы**

1. Геохимия, минералогия и металлогения

2. Генетические типы промышленных месторождений

**1. Геохимия, минералогия и металлогения**

***Скандий*** обладает уникальным сочетанием свойств: низкой плотностью, почти равной алюминию, и высокой температурой плавления, в два с половиной раза превышающей таковую у алюминия. Сплавы с добавлением скандия обладают высокой прочностью. Области применения скандия: полупроводники, катализаторы, добавки карбида скандия в карбид титана для повышения твердости последнего до сопоставимой с алмазом; высокотемпературная керамика; германий-гадолиний-скандиевые гранаты в ЭВМ, галлий-скандий-гадолиниевые гранаты в лазерах. Велики перспективы использования скандия в качестве конструкционного материала в летательных аппаратах, а фоскана – в твердых электролитах.

Основная форма нахождения скандия в природе – рассеяние его в породообразующих минералах железа и магния. В настоящее время известно всего пять собственных минералов скандия, из которых четыре являются силикатами, а один – фосфатом. Все они очень редки. Скандий добывается попутно при переработке урановых и титановых руд, в меньшей степени вольфрамита, танталит-колумбита и ряда других минералов. Эти источники попутной добычи снабжают промышленность скандием уже на протяжении нескольких десятков лет, хотя объемы производства всегда были очень невелики и даже в последнее время составляют всего лишь тонны. В последние годы детально изучено несколько типов собственных месторождений скандия, которые были выявлены 13 – 25 лет назад, но серьезное внимание приобретают лишь сейчас – это скандиеносные метасоматиты и их коры выветривания. К числу собственных месторождений относятся и гранитные пегматиты с тортвейтитом.

***Рений*** ближе всего к молибдену, вольфраму и металлам группы платины, температура плавления 3180°С, кипения – 5600. Использование рения в основном сосредоточено в нефтеперерабатывающей отрасли промышленности. Платино-рениевые катализаторы имеют увеличенный срок службы, экономят платину, способствуют упрощению процесса крекинга нефти, повышению выхода высокоактанового бензина и получению его с нулевым или незначительным содержанием вредного для окружающей среды тетраэтилсвинца. Важное значение он приобрел в изготовлении термопар, электроконтактов, нитей накаливания, нагревательных элементов и других деталей в атомной, авиаракетной и космической технике.

Содержание Re в земной коре систематически не изучено, кларк, по   
А.П. Виноградову, 0,7 мг/т, в разных породах – 0,2-1,1. Выявлено шесть минералов рения: четыре сульфида, один оксид и один самородный. Минералы-носители рения являются сульфидами, среди которых преобладает молибденит; содержание рения в нем от следов до 0,3 %. Производство рения полностью основано на его попутном извлечении из молибденовых концентратов меднопорфировых руд, а также из руд медистых песчаников и сланцев. Однако, располагаясь в центре Таблицы Д.И. Менделеева наряду с сульфурофильными, рений обладает также сидерофильными, оксифильными и органофильными свойствами. К сожалению, в этих трех последних геохимических обстановках его распространенность изучена явно недостаточно. Оксиды рения низких валентностей (в процессе разложения проб при подготовке к анализу) обладают высокой летучестью, что приводит к занижению результатов анализа. Иначе не понятно, каким образом в природе уже установлено шесть собственных минералов металла, имеющего самый низкий кларк.

***Кадмий*** имеет широкое применение: сплавы с медью, обладающие высокой электропроводностью; металлокерамические контакты из сплавов меди и кадмия, серебра и кадмия; подшипники; свинцовые, алюминиевые и магниевые сплавы; кадмиевые бронзы; припои; полупроводники; кадмирование; аккумуляторные батареи и др. Собственные минералы кадмия (11 сульфидов) в природе обнаруживаются довольно редко и не имеют самостоятельного практического значения, за исключением одного цинково-кадмиево-серебряного ру- допроявления в Боливии. Чаще других встречается гринокит *CdS* (76 %).

Среди минералов-носителей особенно высокие содержания кадмия характерны для сульфидов (в г/т): сфалерит 70 – 82000; халькопирит 30–1200; тетраэдрит 500 – 17900; борнит 16 – 1000; бурнонит 50 – 100. Большая часть активных запасов находится в различных свинцово-цинковых, медно-цинковых колчеданных, гораздо меньшая – в медных, олово-сульфидных, золото-сульфидных и некоторых других месторождениях, в которых практически весь кадмий заключен в основных рудообразующих сульфидных минералах. Наиболее важный его минерал-носитель – это сфалерит. Высокие концентрации кадмия, обусловленные развитием собственно кадмиевых минералов, пока известны лишь в практически малозначимых обогащенных сульфосолями серебряно-свинцово-кадмиевых рудах беренгуэльского типа, содержащих до 11 % кадмия (Боливия), и уникальных медно-свинцово-цинково-германиевых рудах цумебского типа (Намибия), важных в промышленном отношении и содержащих 1200 г кадмия на 1 т руды.

***Галлий***. В магматических породах содержание растет от 2 в ультрабазитах до 16–18 – в базитах и 30 – 40 г/т – в кислых и щелочных. У галлия обнаружено четыре собственных минерала (сульфиды и гидроксид). В мировой практике источниками промышленного получения галлия являются руды алюминия и цинка. В России, по О.В. Вершковской (1982), промышленные запасы галлия распределялись следующим образом (в %): в алюминиевых рудах – 82 (в том числе, 59 – в нефелинах, 18 – бокситах, 5 – алунитах); в цинковых рудах – 17,5, других – 0,5. Свыше 90% мирового производства галлия получается на глиноземных заводах, на которых извлекается только 1 – 2%. Содержание галлия в бокситах колеблется от 10 до 140, чаще 50 – 70 г/т. Основные концентраторы галлия: нефелин (20 – 40 г/т) и содалит (70-500 г/т). Редкометально-полиметаллические месторождения с минералами галлия и германия характеризуются наивысшими среди всех природных образований содержаниями галлия (0,5– 1,2% в руде). Однако подобные руды известны только на двух месторождениях – Цумеб (Намибия) и Кипуши (Заир), где галлий присутствует в виде собственных первичных (галлит, майг- рюн, корневалит) и вторичных (зенгеит) минералов и в существенных количествах (в %) входит в решетку германита (0,74–1,5), реньерита (0,52), бриартита (до 2,2), флейшерита (0,56), сфалерита (0,005-0,010)8.

***Индий.*** Средние содержания индия в различных породах земной коры составляют десятки миллиграммов на тонну. Известно пять сульфидов индия, которые не имеют самостоятельной промышленной ценности. Собственных месторождений у индия нет. Он добывается попутно из руд Zn, Pb, Cu и Sn. Наиболее обогащены им цинковые концентраты (2–800 г/т), меньше – медные (0,5–100), оловянные (10–124) и свинцовые (1–10). В мировом производстве до 80 % индия приходится на свинцово-цинковые месторождения, в которых заключены и основные его запасы (70 – 75%)

***Таллий.*** Главная область применения таллия – производство ядохимикатов – инсектицидов для уничтожения грызунов и насекомых. Традиционным считается также использование таллия в электронике и оптике. Разведанные запасы таллия в цинковых и свинцовых рудах зарубежных стран определяются в 812 тыс. т.

Потребление таллия в США по содержанию металла во всех продуктах составляет около 1 т. Высокая токсичность таллия – серьезное препятствие расширению его применения. Кларк таллия для гранитной оболочки земной коры – 1,2 г/т. В магматических породах он закономерно возрастает от 0,18 в ультрабазитах до 1,26 г/т – в кислых. Хотя у таллия выявлено 30 минералов, все они крайне редки и собственных месторождений не образуют.

Таллий – типичный попутный компонент и добывается в основном при переработке сульфидных свинцовых и цинковых руд, а также из пиритных продуктов и мышьяковых руд. Наибольшими масштабами таллиеносности характеризуются колчеданно-полиметаллические, стратиформные свинцово-цинковые, золото-серебряные руды и железо-марганцевые океанические конкреции. Основные минералы-носители таллия: сфалерит, марказит, галенит, средние содержания в которых по месторождениям составляют десятки и первые сотни г/т.

***Германий.*** В природе известно 20 минералов германия, из которых восемь сульфидов и 12 кислородных соединений (последние в зоне окисления). Собственные месторождения образуют германит и реньерит. Практически на протяжении всего эндогенного рудного процесса у германия, как и у галлия, оксифильные и сидерофильные свойства преобладают над сульфурофильными. В экзогенном процессе германий проявляет сидеро- и органофильные свойства, накапливаясь в железных и угольных месторождениях, формировавшихся в условиях активной вулканической деятельности. Среди германийсодержащих месторождений выделяются две группы: 1) германий-угольные, германий-сульфидные и германий-сульфосольные месторождения, содержащие сотни граммов на тонну германия; здесь германий составляет главную промышленную ценность руд; 2) традиционные комплексные руды цветных и черных металлов, коксующихся и энергетических углей, в которых германий является попутным элементом.

***Селен.*** У селена установлено 80 собственных минералов, в том числе: один – самородный, 67 селенидов, 12 оксидов и других кислородных соединений (все 12 из зоны окисления). Однако ни один из его минералов не образует собственные месторождения. Производство и основные активные запасы селена приходятся главным образом на промышленные типы медных, свинцово-цинковых и никелевых месторождений. Наиболее освоенным видом селенового сырья, дающим основное количество продукции, являются медные месторождения. По О.Е. Юшко-Захаровой, содержания в сульфидах медно-никелевых месторождений составляют (в г/т): пентландит — 110, халькопирит — 68, пирротин – 57. Важнейшим мировым источником селена являются меднопорфировые месторождения, на которые приходится более 70 % извлекаемых с медью активных запасов селена зарубежных стран   
(более 40 тыс. т). Средние содержания в молибдените – 265 г/т, халькопирите – 118 г/т, пирите – 65 г/т. Содержания селена в рудах медно-цинково-колчё- данных и серноколчеданных месторождений самые высокие среди сульфидных месторождений. Для колчеданного месторождения Болиден они следующие (в г/т): халькопирит – 700 – 1400, пирит – 40 – 300, сфалерит – 300 – 900, пирротин – 20 – 70, арсенопирит – 400 – 1600. Селен часто встречается в экзогенных урановых месторождениях. Высокие содержания селена отмечены в фосфоритах формации Фосфория (США).

***Теллур*** – элемент VI группы Периодической системы Менделеева – самый тяжелый (атомная масса 127,6) и малораспространенный. Используется как легирующая добавка к чутунам, стали и меди, способствующая улучшению их обрабатываемости; как один из эффективных полупроводников, в частности для лазеров; используется в инфракрасных приборах, специальных стеклах, фототехнике, свинцовых сплавах, термоэлектрических материалах, в солнечных элементах. Теллур извлекают только попутно при переработке сульфидных медных, отчасти свинцовых руд, а также золото-серебро-теллуровых руд. Распространенность Te в земной коре и породах не изучена. В природных условиях обнаружено более 100 минералов теллура. Наибольшее их число принадлежит к классу теллуридов и сульфотеллуридов, из них основная часть приходится на различные соединения с висмутом и благородными металлами, остальная – на *Cu, Fe, Ni, Co, Pb* и др. В качестве промышленных минералов-носителей теллура (в виде изоморфной и микроминеральной примеси) наиболее важное значение имеют халькопирит, галенит, пирит, пентландит, пирротин, молибденит, сфалерит, антимонит, киноварь и некоторые другие. Более 2/3 мирового производства теллура получают при переработке медных минералов, главным образом халькопирита.

По В. В. Иванову, среднее содержание теллура с учетом всех изученных типов месторождений составило в халькопирите 37, галените – 20, пирите – 23 г/т. Активные запасы теллура заключены в медных, свинцово-цинковых, никелевых, а также некоторых месторождениях благородных металлов. По запасам и добыче теллура на первом месте стоят медные месторождения, из которых производится значительно больше половины получаемого в мире теллура. Минералы теллура в медно-никелевых рудах: гессит, алтаит, сильванит, калаверит, мелонит, имгрэ- ит, мончеит, майченерит, котульскит, темагамит, те- ларгпалит, винцентит и др.

**2. Генетические типы промышленных месторождений**

***Биотитоносные микроклиновые пегматиты с тортвейтитом.*** Известны в России (Карелия, Горный Алтай), Казахстане, Швеции, Норвегии и на Мадагаскаре. Главные породообразующие минералы жил – кварц, олигоклаз, микроклин, биотит, иногда присутствует клевеландит; акцессорная минерализация представлена тортвейтитом, цирконом, ферпосонитом, гадолинитом, ортитом, эвксенитом, самарскитом, хлопинитом, монацитом, ксенотимом, уранинитом, торитом и др.

*Тортвейтит* содержит до 50 % *Sc2O3* и 2 – 4,5 – *Y2O3*. Образует призматические, часто конусовидные кристаллы длиной до 35 см и толщиной до 4 см, обычно 10×2 см. В Норвегии за 50 лет из гранитных пегматитов было добыто всего 50 кг тортвейтита. В 80-х годах было опубликовано известие о находке в Норвегии пегматитовой жилы с запасами скандия свыше 3 т. Поскольку олигоклаз и биотит для редкометальных гранитных пегматитов с литием, цезием, танталом являются отрицательным поисково-оценочным признаком, не исключено, что тортвейтитоносные биотитовые олигоклаз-микроклиновые пегматиты могли быть пропущены при поисках. Поэтому необходима ревизия этого типа пегматитов на скандий.

*Биотит-альбит-карбонатные и альбит-флннртовые метасоматиты с тиртвейтитом* В Горном Алтае известно месторождение Кумир. Оно приурочено к юго-западной контактовой части штокообразного субвулканического тела кварцевых порфиров, в плане неправильно овальной формы размером 3×1,5 км. Оруденение локализуется в останце кровли вмещающих пород. Вмещающие породы в непосредственном контакте с кварцевыми порфирами ороговикованы, скарнированы, сопровождаются интенсивной альбитизаций, флюоритизацией, турмалинизацией, биотитизацией. Ведущая рудная формация – скандиево-редкоземельная, в составе которой А.В. Михайловым обнаружены уранинит, тортвейтит, гадолинит, абакумалит, таленит, итгриалит, флюорит и др. Содержание скандия в рудах колеблется от нескольких до 2400 г/т; рудными считают интервалы с содержанием скандия выше 50 г/т. Основная минерализованная зона прослежена подземными горными выработками и скважинами на 600 м в длину при ширине 150 м, по падению до 250 м. Содержание тортвейтита в биотитовом слюдите с флюоритом, пиритом и карбонатом достигает 1 %. Минерал образует призматические кристаллы (до I мм), радиально лучистые срастания и неправильной формы зерна. Предварительная оценка месторождения позволяет предполагать, что среднее содержание скандия составит не менее 200 г/т. И запасы скандия в этом случае будут исчисляться многими сотнями, а по всему району – тысячами тонн.

***Скандиеносные акмит-доломитовые в метасоматиты и их коры выветривания.*** С конца XlX столетия месторождение Желтые Воды (Украина) разрабатывалось на железо, с 1940-х годов – на уран, а в последние 15 лет в боковых породах отработанного уранового месторождения было выявлено интенсивное развитие комплексных руд *Sc, V, Lny, Zr, Hf*. Район месторождения сложен комплексом докембрийских пород, перекрытых чехлом рыхлых кайнозойских отложений мощностью 10 – 80 м. Руда имеет нижнепротерозойский возраст. Выделяются два типа руд: ванадий-скандиевые и скандий-цирконий-редкоземельные. Мощность рудных тел первого типа составляет 7 –10 м, длина по простиранию от 25–45 до 250 – 415 м; мощность руд второго типа варьирует от нескольких десятков сантиметров до 5 – 6 м (иногда 10м), длина по простиранию – от 30 до 350 м. По падению протяженность залежей обоих типов 40 – 380 м.

Ванадий-скандиевые руды преимущественно приурочены к карбонатным метасоматитам (и альбит-карбонатным), скандий-цирконий-редкоземельные – к альбититам. Важнейшей геохимической особенностью скандиевых руд месторождения является уникальный иттриевоземельный состав лантаноидов.

Наиболее распространенные минералы руд – карбонаты, магнезиорибекит и актинолит-тремолит, ванадиевый эгирин – акмит, кварц, альбит, апатит. В качестве главных минералов-носителей полезных компонентов выявлены: для скандия, ванадия, циркония и гафния – ванадиевый эгирин, магнезиорибекит и натровый амфибол; для ванадия и гафния – ванадиевый эгирин; для иприя и лантаноидов – карбонаты и амфиболы в ванадий-скандиевых рудах, апатит, карбонаты и магнезиорибекит в скандий-цирконий-редкоземельных. На скандиеносных метасоматитах месторождения развиты обогащенные редкими элементами глинистые коры выветривания мощностью до 25–40 м. Содержание (в г/т) скандия в глинах – 100– 130, циркония – 8800– 14000, иттрия – до 1300 при одновременном обогащении иттербием – до 130, лютецием – до 22 и другими иттриевыми лантаноидами. В целом коры выветривания, как и коренные руды, могут явиться очень богатым источником скандия, тяжелых лантаноидов и других редких элементов, извлечение которых возможно пугем автоклавного или кучного выщелачивания. Запасы скандия в коренных рудах составляют первые тысячи тонн, в корах выветривания – сотни тонн.

***Германий-угольные месторождения.*** На Дальнем Востоке России, где выявлены германий-угольные месторождения эоценового и олигоценового возрастов, кайнозойское углеобразование протекало на фоне затухающего вулканизма верхнемелового-палеогенового цикла. Угли всех известных германий-угольных месторождений – бурые. Для всех выявленных германий-угольных месторождений характерен лимнический тип угленакопления.

***Германит-реньеритовые месторождения.*** Цумеб, Асис (Намибия), Кипуши (Заир) – несколько десятков лет являются основными поставщиками германия на мировом рынке. Месторождения сосредоточены в верхнепротерозойских осадочных породах. Руды содержат: *Ge, Zn, Cu, Pb, Cd, Ga* и др. Месторождение Цумеб и Кипуши относятся к разряду весьма крупных, Асис – мелких. В районе Цумеба развиты медные и своеобразные свинцово-цинково-ванадиевые (Абенаб и др.) месторождения, а в районе Кипуши – широко известный пояс медных стратиформных месторождений, обогащенных *Co, U* и другими элементами. Рудное тело Цумеба трубообразное, Кипуши – более сложной формы, но также кругопадающее. Руды сплошные, брекчиевые, прожилковые, реже вкрапленные. Хорошо развиты зоны окисления и вторичного сульфидного обогащения. Оруденение прослеживается на значительную глубину (на месторождении Цумеб около 1000 м). В Цумебе широко, хотя и неповсеместно, примерно в равных количествах развиты германит и реньерит, а в Кипуши – только реньерит. Содержание германиевых минералов в Цумебе на некоторых участках достигает нескольких десятков процентов. Запасы германия исчисляются тысячами тонн.

***Стратиформные германийсодержащие свинцово-цинковые месторождения***. Широко распространены в различных районах мира. Высокие концентрации германия обычны в сфалерите (в среднем 190 г/т). На Юго-Западе Европы, где находится крупнейшая провинция германийсодержащих стратиформных руд, высокие концентрации германия (400– 1950 г/т) характерны для цинковых обманок (в г/т): Миесс и Кройт – 400, Райбл – 800, Изер- лон, Брилон – 900, Аахен – 1950. Главный минерал-концентратор германия в рудах месторождений оксифильной группы – топаз, содержащий его до 1500 г/т. Для месторождений железистых кварцитов докембрия России и Украины среднее содержание германия 6 г/т, в магнетитовых кварцитах Кременчугского района – от 9 до 50, в среднем 29 г/т. Магнетит-гематитовые руды Казахстана отличаются повышенным содержанием германия – 70 г/т. Главный минерал-носитель – магнетит.

Среди различных типов золото-серебряных месторождений собственно золоторудные часто обладают повышенными концентрациями ***теллура.*** Теллуром в разной степени могут быть обогащены как сульфидсодержащие, так и практически бессульфидные месторождения. Содержание теллура в самородном золоте разнотипных месторождений востока России составляет   
(в г/т): малосульфидных – от 200 до 474, умеренно сульфидных – 350, сульфидных – 420. В близповерхностных преимущественно распространены теллуриды золота и серебра, а в месторождениях средних глубин – теллуриды висмута. Золото-теллуридные месторождения – несколько крупнейших золоторудных месторождений, в которых золото в основном представлено теллуридами: Калгур- ли (Австралия), Крипл-Крик, Комсток и Голдфилд (США). Обычно приурочены к вулканическим депрессиям или кальдерам и характеризуются минералогически сложным телескопированным оруденением, формирование которого считается близповерхностным.

Месторождение Калгурли – одно из крупнейших золоторудных в мире, давшее за время эксплуатации более тысячи тонн золота. Минералогический состав руд весьма сложен; главные рудные минералы – пирит, теллуриды и самородное золото. Среди теллуридов присутствуют: калаверит, колорадоит, петцит, сильванит, креннерит, алтаит, мелонит, гессит, тетра- димит, нагиагит, эмпрессит, самородный теллур, вейс- сит и теллуровисмутит.

**12.7 Редкоземельные элементы и иттрий**

1. Геохимия, минералогия и металлогения

2. Генетические типы промышленных месторождений

**1. Геохимия, минералогия и металлогения**

К редкоземельным элементам (ТR) относятся *лантан Lа, церий Се, празеодим Рr, неодим Nd, прометий Рm, самарий Sm, европий Еu, гадолиний Gd, тербий Тb, диспрозий Dy, гольмий Но, эрбий Еr, тулий Тm, иттербий Yb, лютеций Lu и иттрий Y.*

Редкие земли используются в металлургии как легирующие и модифицирующие добавки, повышающие механические свойства, тепло- и жаропрочность сплавов черных и цветных металлов. Они применяются как катализаторы при крекинге нефти, в производстве кинескопов цветных телевизоров, люминофоров, сверхмощных магнитных сплавов, лазеров и мазеров, регулирующих стержней (*Gd, Sm, Еu*) в атомных реакторах, как источники радиоактивного излучения. Запасы и добыча. Мировые запасы редкоземельных элементов (без СНГ) оцениваются в 45 млн т.

Крупными считаются месторождения с запасами более 500 тыс. т ТR2О3, средними – 500–100 тыс. т, мелкими – менее 100 тыс. т. Богатые руды содержат более 1–2 % ТR2О3, бедные – менее 0,3 %. Производство редкоземельных концентратов (60 % ТR2О3) в зарубежных странах составляет 50 тыс. т, в том числе около 60 % в США. Редкие земли получают как из собственно редкоземельных руд (бастнезитовые и моноцитовые), так и попутно при переработке тантало-ниобиевых и урановых руд.

**2. Генетические типы промышленных месторождений**

Месторождения редких земель являются, как правило, комплексными. Основное промышленное значение имеют следующие типы: магматические, пегматитовые, гидротермальные плутоногенные, скарновые, остаточные выветривания, осадочные (россыпи и биохимические).

***Гидротермальные плутоногенные месторождения*** пространственно и генетически связаны с массивами щелочных грано-сиенитов и приурочены к тектоническим нарушениям. Рудные тела имеют форму линз и жил. Состав руд сложный. Жильную массу образуют карбонаты кальция, магния и железа, магнетит, барит, флюорит, кварц; рудные минералы представлены бастнезитом, паризитом, монацитом. Такого типа месторождения известны в США (Маунтин-Пасс), КНР (Баян-Обо), Бразилии, Австралии.

***Россыпные месторождения*** развиты широко и служат важным источником монацита, ксенотима, фергюсонита. Месторождения обычно комплексные: редкоземельные минералы сопровождаются цирконом, тантало-ниобатами, касситеритом, ильменитом, рутилом.

Промышленно значимыми являются прибрежно-морские (для монацита) и элювиально-делювиальные россыпи. Крупные россыпные месторождения редких земель разрабатываются в КНДР, Индии, Шри-Ланке, Австралии, Мозамбике, Канаде, США.

**ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ**

**Практическая работа № 1 Минеральные соли**

***Краткие сведения***

Минеральные соли относятся к группе горно–химического сырья.

*Минеральные соли* – природные легко растворимые в воде соединения, образуемые щелочными (натрий калий) и щелочно–земельными (магний и кальций) металлами с соляной кислотой – хлориды, с серной кислотой – сульфаты, с угольной кислотой – карбонаты и бикарбонаты, с азотной – нитраты. Из многочисленных минералов, представляющих минеральные соли, промышленное значение имеют следующие: хлориды – галит, сильвин, бишофит, карналлит; хлорид–сульфаты – каинит; сульфаты – тенардит, мирабилит, глауберит, полигалит; карбонаты – натрон (природная сода), трона, нахколит.

*Галит* развит в природе преимущественно в виде кристаллически–зернистых агрегатов, как мономинеральных, так и в сочетаниях с другими соляными минералами; он является постоянным минеральным компонентом соляных пород. Чистый галит прозрачен и бесцветен, обладает стеклянным блеском; примеси окрашивают его в серый, желтый, розовый, красный, бурый и иные цвета. На вкус галит соленый, он легко растворим в воде, при растворении поглощает тепло, с повышением температуры растворимость галита повышается слабо. Расплавы и растворы галита высокоэлектропроводны; концентрированные растворы являются антисептиками и предохраняют от гниения органические ткани.

*Сильвин* образует плотные мелко–, средне– и крупнозернистые скопления и почти всегда встречается в сочетании с галитом. Чистый сильвин является молочно–белым или бесцветным; тонко распыленные в сильвине мельчайшие чешуйки и иголки гематита окрашивают его в красный цвет. На вкус сильвин горько– или жгуче–соленый. Подобно галиту, он легко растворим в воде, но с повышением температуры растворимость его резко возрастает.

*Карналлит* наблюдается в природе в агрегатах с размерами зерен до 5–6 см и более; он ассоциирует с галитом, сильвином и другими минералами. Обычно карналлит имеет красный, оранжевый и желтый цвет. Карналлит очень гигроскопичен, жадно поглощает влагу из воздуха. Вкус минерала горько–жгуче–соленый. В тончайших порах в карналлите часто содержатся метан и водород.

*Тенардит* встречается в зернистых агрегатах и плотных кристаллических массах, прослоях, линзах и корках. Он обычно бесцветен и прозрачен, реже имеет серую, желтоватую, красноватую и черную окраску. Тенардит легко растворим в воде и на влажном воздухе быстро гидратизируется и покрывается налетом порошковатого мирабилита. Вкус тенардита солоноватый, охлаждающий.

*Мирабилит* встречается в землистых и порошковатых массах, налетах и корках. Мирабилит легко растворим в воде, вкус его слабый горько–соленый, охлаждающий. В сухом воздухе мирабилит теряет кристаллизационную воду и переходит в тенардит.

Важнейшими физическими свойствами солей и соляных пород являются их высокие растворимость, пластичность и гигроскопичность. Высокая пластичность солей при их небольшой плотности и компактности сложения предопределяет проявление пластических деформаций в земной коре.

*Наиболее важными в промышленном отношении являются следующие соляные породы*: 1) каменная соль – состоит из галита, зернисто–кристаллическая бесцветная или молочно–белая (за счет включений газа и остаточной рапы), красная, бурая, серая и др.; 2) сильвинит, или сильвиновая порода зернистой структуры, тонкослоистой полосчатой и массивной текстур; цвет – молочно–белый, серый, желтый, пестрый и красный (за счет тонкорассеянного гематита); 3) карналлитит, или карналлитовая порода – крупнозернистая, хрупкая и гигроскопическая, цвет чаще всего буро– и оранжево–красный (за счет тонкорассеянного гематита), текстуры слоистые, массивные, пятнистые и брекчиевидные; содержит в порах метан, водород, углекислоту и азот.

Каменная соль находит применение во многих отраслях промышленности и сельского хозяйства. По назначению и потреблению различают пищевую, кормовую и техническую соль.

Более 90% мировой добычи калийных солей идет в производство калийных удобрений для сельского хозяйства и только около 10% потребляется химической промышленностью для производства ряда калийсодержащих химических препаратов, применяемых в парфюмерной, фармацевтической, лакокрасочной, стекольной, кожевенной и других отраслях промышленности.

В качестве калийных удобрений для ряда зерновых, технических, Карналлитовая порода вследствие большой гигроскопичности и слеживаемости непосредственно в качестве удобрения не применяется и подвергается переработке с целью получения ряда солей калия и магния, а также окиси магния и металлического магния; на удобрение идет один из продуктов переработки – технический хлористый калий. Магний, также необходимый для удобрения некоторых почв, вводится в них в виде природных (каинит) и технических калиево–магниевых солей.

Тенардит и мирабилит служат сырьем для получения ряда важных продуктов в химической промышленности (сернистый натрий, сода, сульфат аммония, сульфат калия, ультрамарин и др.), а также широко используются в стекольной промышленности и в производствах: целлюлозно– бумажном, искусственного волокна, дубильно–экстракционном и химико–фармацевтическом, в фотопромышленности, в производстве мыла и др.

***Генетические типы промышленных месторождений.***

Основная масса минеральных солей образуется путем осаждения из истинных растворов в солеродных бассейнах. Состав и строение как современных, так и ископаемых соляных залежей определяются совместным действием многих факторов, важнейшими из которых являются такие: химический состав исходных морских или озерных минеральных вод, последовательность отложения солей из солеобразующего раствора – рапы, наложенное метаморфизующее действие привносимых поверхностных и глубинных вод и их компонентов, палеогеография солеродных бассейнов и их тектонический режим, изменчивость климата и другие Нормальная последовательность выпадения солей из растворов следующая: карбонаты кальция и магния → гипс и ангидрит → галит → сильвин, карналлит → сульфаты магния и калия (полигалит, тенардит, кизерит) → бишофит. Выделяется 4 типа месторождений:

*Ископаемые осадочные месторождения каменных и калийных солей: пластовые ненарушенные* (Славянск–Артемовское, Башкирия, Приуралье, Сольвычегодское месторождение каменной соли; Припятские и Вернекамские местрождения – калийной соли); *пластовые нарушенные тектоникой* (месторождения Предкарпатского прогиба, Красноярское – Россия); *солянокупольные* (Соль–Илецкое, Ефремовское, Светлоярское, Индерское – Россия).

Древние солеродные бассейны были преимущественно мелководными. Их глубина не превышала нескольких десятков метров, редко была более   
100 м. Время формирования соляной толщи измеряется тысячами и десятками тысяч лет. Например, время накопления соляной толщи Верхнекамского соленосного бассейна (800–1000 м) составило 12–17 тыс. лет.

Соли накапливались в обширных впадинах с большой скоростью погружения, увеличивающейся к заключительным этапам отложения осадков. Прогибание дна солеродного бассейна проходило ритмично, ускорение погружения сопровождалось кристаллизацией солей, а замедление – образованием гипса, ангидрита и карбонатно–терригенных илов; максимальное прогибание солеродных структур компенсировалось накоплением галогенных осадков. При глубинах погружения более 2000 м формировались мощные толщи каменной и калийных солей.

Следовательно, на начальных стадиях галогенеза образовывались доломит–гипс–ангидритовые породы, затем преимущественно каменная соль и завершается процесс формированием калийно–магнезиальных солей.

В спокойной тектонической обстановке формировались недислоцированные с моноклинальным залеганием пласты. При проявлениях пликативной и дизъюнктивной тектоники образовывались нарушенные и смятые в складки пласты, а также солянокупольные структуры. Для месторождений первых двух типов характерны слоистое внутреннее строение, пластовая и линзовидная форма залежей. В связи с высокой пластичностью солей внутренняя структура пластов и куполов чрезвычайно сложна. Внутрипластовые структуры представлены дисгармоничными асимметричными или коробчатыми складками течения со сжатыми крутыми крыльями. Соляные купола слагают ядра округлых или вытянутых на десятки километров брахиантиклиналей. Мощность соли в ядре соляного купола достигает несколько километров. Соляные массивы (штоки или соляные купола) имеют форму цилиндрических, эллиптических или округлых грибообразных тел. Площадь соляных куполов достигает нескольких десятков квадратных километров. Перекрывающие гипс–ангидритовые и карбонатные породы при выщелачивании верхних слоев соляного ядра обрушаются, образуя шляпу соляного купола – кепрок.

*Современные соляные месторождения: внутриконтинентальных соляных озер* (хлоридов – Эльтон, Баскунчах; хлоридов и сульфатов – Предуралье и Прикаспий; хлоридно– содового типа – в Кулундинской степи); прибрежно – морских лагун и заливов (галит и мирабилит залива Кора–Богаз–Гол). Месторождения в соляных озёрах образуются при превышении испарения над атмосферными осадками, а соли привносятся при выщелачивании окружающих пород или ископаемых соляных залежей.

Для современных морских месторождений источником солей являются морские воды. Образуются они в заливах, лагунах, лиманах в условиях длительного притока морских вод и испарения при жарком и сухом климате.

Соляные источники и рассолы образуются при растворении солянных отложений. Подземные воды хлоридно – сульфатно – содового состава присутствуют в большенстве нефтяных и газовых месторождений Сев. Кавказа, Западной Сибири при подземном выщелачивании солей. Промышленностью используются как воды естественных соляных источников (Славянско–Атрёмовский бассейн), так и рассолы, получаемые из недр с помощью буровых скважин (Верхнекамский соляной бассейн).

Современные моря и океаны являются грандиозными месторождениями. Добываются соли путем выпаривания или вымораживания; при опреснении воды.

*Селитра* образуется в областях с жарким и сухим климатом (Чили) при переносе азотных соединений, образовавшихся в результате растворения и переотложения продуктов вулканических эксгаляций.

***Основные периоды соленакопления.***

Следует отметить, что основными периодами образования галогенных формаций на территории России и стран СНГ являются следующие. К раннему палеозою относятся галогенные формации Сибирской платформы (Ангаро–Ленский, Берёзовский, Приенисейский, Предтаймырский прогибы). В среднем и позднем девоне соленакопление происходило на Восточно–Европейской платформе (мощное в Днепровско–Донецкой впадине и Припятском прогибе, болееслабое в Московской, Балтийской и Двинско–Мезенской впадине). В пермский период галогенное осадконакопление достигло максимального развития, в краевых прогибах Восточно–Европейской платформы на всём протяжении Предуральского прогиба, в Прикаспийской синеклизе, в Днепрово–Донецкой впадине и в Донбассе образовались мощные соленосные формации; а в северо–восточной и восточной частях платформы – доломит–ангидрит–гипсовые формации с мощными соленосными толщами. В позднепермское время галогенез проявился в Западной и Северной Европе. В юрское и меловое время соленакопление происходило в Средней Азии.

***Задание 1 Заполнить таблицу***

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вид минеральной соли | Химический состав | Применение | Крупнейшие месторождения | Генетические типы месторождений | Период соленакопления |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

***Задание 2 Работа с географической картой***

А) на географическую карту мира нанести:

1 крупнейшие месторождения минеральных солей;

2 галогенные формации.

Б) на географическую карту Беларуси нанести:

1 месторождения минеральных солей

В) составить характеристики месторождений минеральных солей (одно месторождение в пределах Беларуси и одно месторождение на территории СНГ), к характеристике прилагается геологический разрез месторождения (подготовить презентацию).

Литература

1. Ерёмин, Н.И. Неметаллические полезные ископаемые /   
   Н.И. Ерёмин.– М.: МГУ, 1991. – 284 с.
2. Карякин, А.Е. Промышленные типы месторождений неметаллических полезных ископаемых / А.Е. Карякин [и др.]. – М.: Недра. 1985.
3. Татаринов, И.К. Курс месторождений твердых полезных ископаемых / И.К. Татаринов [и др.]. – Л.: Недра, 1975.
4. Романович, И.Ф. Месторождения неметаллических полезных ископаемых / И.Ф. Романович. – М.: Недра. – 1986.
5. Минеральное сырьё. Соли минеральные // Справочник. – М. ЗАО «Геоинформмарк», 1999 – 73 с.
6. Полезные ископаемые Беларуси: к 75–летию БелНИГРИ / Редкол.: П.З. Хомич и др. – Мн.: Адукацiя i выхаванне, 2002. – 528 с.

**Практическая работа № 2 Фосфатное сырье**

***Краткие сведения***

В природе фосфорное сырьё представлено солями фосфорной кислоты – фосфатами. Промышленное значение имеют два главных вида фосфатов – апатиты и фосфориты. Хотя общее число известных минералов фосфора превышает 200, свыше 95% его в земной коре представлено в виде апатита.

*Апатит* – минерал, практически нерастворим в воде, содержание *Р2О5* – 41–42%. Апатит образует кристаллы призматического или игольчатого облика гексагональной сингонии, а также друзы, зернистые и плотные тонкокристаллические агрегаты, как акцессорный минерал встречается практически во всех горных породах. Разновидностью апатита в большинстве горных пород является фторапатит и фторгидроксилапатит. Промышленные скопления его возникают в щелочных, ультраосновных–щелочных и метаморфических породах. Среди промышленных руд апатита выделяют: собственно апатитовые руды и комплексные апатитсодержащие руды. Качество апатитовых руд, как и фосфоритов, определяется содержанием фосфорного ангидрида *Р2О5.*

*Фосфориты* – осадочные горные породы с содержанием *Р2О5* – от 5 % до 30 %, существенную часть которых составляют фосфаты, близкие по составу к группе апатита и представлены скрыто– или микрокристаллическими образованиями. Фосфориты разделяются на природные литологические типы: *желваковые (конкреционные), зернисто–ракушечниковые и массивные.*

*Желваковые фосфориты* представляют собой скопления округлых, овальных и неправильных конкреций (желваков), состоящих из различных нефосфатных минералов, сцементированных аморфным или кристаллическим фосфатным веществом. Размеры конкреций колеблются от долей миллиметра до 10–15 см, иногда до 35 см. Залегают они в песке, глине, конгломерате, меле, известняке и других осадочных породах, могут быть рассеянными в породе, но могут сливаться в сплошную массу – фосфоритовую плиту. Содержание *Р2О5* в желваках колеблется от 12 до 35 %. Желваковые фосфориты слагают пласты и пластообразные залежи мощностью до нескольких метров, часто выдержанные на площади в сотни–тысячи квадратных километров.

*Зернисто–ракушечниковыми* называют такие фосфориты, которые состоят или из мелких стяжений (оолитов) и галек фосфатов, или из фосфатизированных раковин и их обломков в песках и песчаниках с глинисто–железистым или известковистым цементом; реже зернистые фосфориты представлены фосфатизированными известняками и мергелями. Содержание *Р2О5* в таких фосфоритах невелико, однако они легко обогащаются; раковины брахиопод, например, содержат *Р2О5* 36–41 %, и полученные из ракушечниковых фосфоритов концентраты также обладают высоким содержанием фосфорного ангидрида. Зернистые фосфориты слагают пласты мощностью до 20 м.

*Массивные (микрозернистые) фосфориты* – это однородные осадочные породы темно–серого, бурого, черного, иногда светло–серого и белого цветов, сходные по облику с окремненными известняками и доломитами. Лишь под микроскопом устанавливается, что порода состоит из мельчайших оолитов или кристаллических зерен фосфатного вещества, сцементированных карбонатно–или кремнисто–фосфатным цементом. Залежи, имеющие форму пластов, сложены такими фосфоритами на всю мощность и нередко обладают высоким содержанием *Р2О5*, достигающим 26–28 % и более. Массивные фосфориты слагают мощные и выдержанные по простиранию пласты геосинклинальных фосфоритоносных бассейнов.

*Области применения.*

Природные фосфаты служат сырьем для получения элементарного фосфора и различных его соединений. Исходным продуктом для получения многих видов химических соединений является желтый фосфор, извлекаемый из природных фосфатов путем возгонки в электропечах при 1400– 1600 °С. Желтый фосфор применяется для производства красного фосфора, фосфорной кислоты, фосфорного ангидрида, хлористых, сернистых и других соединений фосфора. Эти продукты используются при изготовлении спичек, в пиротехнике, металлургии, органическом синтезе, при производстве активированного угля, флотореагентов, инсектицидов, различных лекарственных препаратов и т. д.

Более 90 % всего добываемого фосфора используется для выработки минеральных удобрений. Важнейшим источником сырья для производства последних являются апатитовые и фосфоритовые руды.

По химическому составу фосфатные удобрения подразделяются на простые и комплексные. Простые содержат один действующий элемент – фосфор; комплексные содержат два или более действующих вещества (*Р, К, N)*.

Простые одинарные удобрения – фосфоритная мука, преципитат, фосфатшлаки – содержат *Р2О5* в трудноизвлекаемой форме. Для производства фосфоритной муки пригодны только те природные фосфаты, которые способны растворяться в кислых почвенных растворах и в слабой фосфорной кислоте. Ими являются первичные концентраты желваковых, ракушечных и зернистых фосфоритовых руд, а также фосфаты руд месторождений кор выветривания.

Преципитат – содержит около 42 % *Р2О5* в усвояемой форме, имеет нейтральную реакцию и обладает высокой агрохимической эффективностью на большинстве почв, но уступает двойному суперфосфату.

Водорастворимые удобрения – простой и двойной суперфосфат –являются основным видом удобрений под все сельскохозяйственные культуры. Сырьем для них служат апатитовый концентрат и фосфоритная мука из каратауских фосфоритов.

Наиболее высококонцентрированными являются сложные комплексные удобрения – аммофос, нитрофос, нитрофоска, содержащие кроме фосфора калий и азот.

Фосфаты кальция употребляют не только как удобрения, но и в качестве кормов. Для подкормки скота годятся фосфаты, содержащие незначительные количества фтора, который является токсикантом. Поэтому из природных фосфатов вырабатываются кормовые фосфаты с пониженным содержанием фтора. Кормовой трикальций фосфат представляет собой универсальную фосфорно–кальциевую подкормку для животных и птиц. Кормовой трикальций фосфат высшего сорта вырабатывается из ковдорского апатитового концентрата, первосортный – из каратауских фосфоритов.

Для производства концентрированных и комплексных удобрений необходима фосфорная кислота. Ее производят в виде водных растворов различной концентрации двумя способами: термическим и экстракционным.

Крупный потребитель фосфатного сырья – производство фосфатов натрия, применяемых при получении синтетических средств водоумягчения. Практика водоумягчения показала, что питание котлов водой, обработанной фосфатами натрия, повышает производительность котельных установок на 15–25 %.

**Генетические типы промышленных месторождений апатита.**

***Магматические месторождения.***

*Месторождения апатитовой формации* связаны с габбро–сиенитовыми интрузивными массивами на участках пересечения и сочленения глубинных разломов. Приуроченные к ним месторождения представлены бедными рудами с содержанием *Р2О5* 2–4 %. В сущности, апатит является породообразующим минералом, распределенным относительно равномерно в материнских интрузивах.

Примером месторождений этой формации является Ошурковское месторождение в Бурятии. Практически весь диоритовый массив является апатитоносным. Среднее содержание *Р2О5* в балансовых рудах 3,9 %, но в отдельных зонах брекчирования и гидротермальной проработки оно может достигать 20 %. Месторождение имеет крупные размеры. Руды легко обогащаются.

*Месторождения апатит–нефелиновой формации* пространственно и генетически связаны с интрузиями нефелиновых сиенитов. Типичные представители таких интрузий – Хибинский (месторождения Кукисвумчорр, плато Расвумчорр и др.) и Ловозерский массивы с апатитовыми месторожденими.

Массивы агпаитовых нефелиновых сиенитов представляют собой дифференцированные интрузивы центрального типа, развитые на щитах и в краевых зонах платформ. Их площади варьируют от первых десятков до первых тысяч квадратных километров.

К промышленным в настоящее время относятся только месторождения Хибинского массива, в которых среднее содержание *Р2О5* – 14–18 %.

Внутреннее строение массива определяется зонально–концентрическим расположением разновозрастных интрузивных комплексов.

Интрузив ийолит–уртитов, с которым пространственно и генетически тесно связаны промышленные апатитовые месторождения сформировался в три последовательные фазы поступления магматических расплавов. Вторая (рудная) фаза представлена массивными уртитами и апатит–нефелиновыми рудами. Последние образуют мощные (100–200 м) пластовые залежи в висячем боку уртитов (Кукисвумчорр–Юкспор–Расвумчоррское рудное поле), серию маломощных (5–15 м) параллельных прослоев, а также ряд субпараллельных рудных горизонтов среди уртитов.

Руды сложены преимущественно апатитом, нефелином, эгирином, менее распространены сфен и титаномагнетит. Среднее содержание *Р2О5* в рудах крупного Кукисвумчорр–Расвумчоррского рудного поля около 18 %. Руды хорошо обогащаются, дают высококачественный апатитовый концентрат с содержанием Рг05 39,4 % при извлечении 92–94 %. Промышленное значение, кроме апатита, имеет нефелин; практический интерес могут представлять сфен и редкие земли.

*Месторождения апатит–магнетитовой* (апатит–титаномагне–титовой) *формации* пространственно и генетически тесно связаны с габбро–сиенитовыми (Кирунавара и др. в Северной Швеции), габбро–пироксенит–дунитовыми (Волковское на Среднем Урале) и габбро–анортозитовыми (Стремигородское на Украине) магматическими комплексами. Апатит ассоциирует с магнетитом (титаномагнетитом), что придает рудам комплексный характер.

В месторождениях, тяготеющих к габбро–пироксенит–дунитовым и габбро–анортозитовым массивам, развиты комплексные апатит–титаномагнетитовые и апатит–гематит–ильменитовые руды. К типичным относится Волковское месторождение на Среднем Урале. Апатитовое оруденение так же, как титаномагнетитовое и медно–сульфидное, представлено зонами вкрапленности среди пироксенитовых габбро. Апатит распределен крайне неравномерно, местами его содержание достигает 14 % при среднем содержании *Р2О5* в балансовых рудах около 4%.

*Карбонатитовые месторождения* приурочены к плутонам центрального типа ультраосновных щелочных пород, штокам и дайкам карбонатитов. Руды, как правило, комплексные – апатит–магнетитовые, апатит–флогопитовые, апатит–редкометальные. Содержание *Р2О5* в среднем составляет около 7 %, иногда достигает 20 %. Наиболее изученными месторождениями этого типа являются в России Ковдорское на Кольском полуострове, Большое Саянское в Сибири, а также месторождения в Финляндии, Бразилии, в ЮАР и др. Весьма крупными ресурсами *Р2О5* обладает Маймеча–Котуйская провинция на севере Сибири с месторождениями Ессей, Ыраас, Маган и др.

Массивы ультраосновных щелочных пород представляют собой многофазные образования, в их строении участвует до девяти серий последовательно формирующихся горных пород – от наиболее ранних ультрамафитов (оливиниты и пироксениты) до поздних щелочных пород и карбонатитов. Породы обогащены *Fe, Ti, P, F, СО2*, отличаются повышенным содержанием *Nb, Та, Zr, Sr, Ba и TR*.

Апатитоносные тела на месторождениях этой формации весьма разнообразны по форме и условиям залегания. Это могут быть кольцевые и конические дайки, линзо–, серповидные и линейновытянутые крутопадающие тела, трубки взрыва, штоки центрального типа, тела эруптивных брекчий сложной формы и др. Запасы Р205 в наиболее крупных месторождениях – первые сотни миллионов тонн. К числу полезных компонентов, сопутствующих апатиту, относятся флогопит, нефелин, редкометальные минералы (бадделеит, пирохлор и др.), магнетит, фосфаты и фторкарбонаты редких земель, флюорит, сульфиды меди, свинца и цинка.

Месторождение Маган, входящее в состав Маймеча–Котуйской провинции приурочено к одноименному массиву площадью 42 км2. Наибольшей апатитоносностью отличается экзоконтактовая область массива, представленная в основном эгирин–фенитами, которые образуют кольцевую зону диаметром 19 км и шириной до 0,5 км; на глубину прослеживается до   
300 м при крутом падении. Прогнозные ресурсы только на Северном и Западном участке месторождения составляют более 100 млн т. при среднем содержании *Р2О5* 6,8 %

**Генетические типы промышленных месторождений фосфоритов.**

*Осадочные морские биохимические месторождения* – наиболее важные в промышленном отношении. Они возникают в результате накопления богатых фосфором раковин, выпадения фосфатов из растворов, их диагенетического и механического перераспределения в виде конкреций на дне морей и океанов. Подобные процессы фосфатонакопления протекают и в настоящее время.

Ископаемые осадочные биохимические месторождения фосфоритов подразделяются на *геосинклинальные, платформенные и переходные.*

*Геосинклинальные фосфоритовые бассейны* – Каратау (Казахстан), Хубсугульский (МНР), Джорджина (Австралия), Скалистые горы (США) характеризуются линейной вытянутостью: прослеживаются на несколько сотен километров при ширине в десятки километров. В их пределах развита кремнисто–карбонатная фосфоритовая формация мощностью до 100 м с микрозернистыми рудами, слагающими до 10 пластов фосфоритов суммарной мощностью до 40 м. Фосфоритовые формации подвержены интенсивным деформациям, нередко прорваны магматическими породами, на контакте с которыми фосфориты метаморфизованы и переходят в апатит.

Типичным примером является фосфоритовый бассейн Каратау, имеющий размеры 150×(25–30) км, расположенный в пределах одноименного хребта. Бассейн представляет собой антиклинорий, сформированный палеозойским осадочным комплексом. Фосфориты накапливались в морской мелководной обстановке в условиях аридного климата. Число и мощность пластов фосфоритов в продуктивном горизонте непостоянны: от одного пласта мощностью 0,6–14 м (месторождение Чулактау) до семи пластов суммарной мощностью 30 м (месторождение Коксу).

Фосфориты бассейна Каратау в основном микрозернистые. Руды темные и коричневые различных оттенков, сложенные в основном фосфатами, кварцем, халцедоном, доломитом. В местах размыва микрозернистые руды сменяются фосфоритовыми конгломератами и гравелитами, состоящими из галек фосфоритов и вмещающих пород. Основная масса фосфоритов представлена фторкарбонат–апатитом. В пределах бассейна Каратау насчитывается более 45 месторождений. Разведанные запасы бассейна составляют 2,1 млрд. т руды, или 504 млн. т *Р2О5*. Ресурсы бассейна оцениваются в 1,5 млрд. т. *Р2О5.*

*Платформенные месторождения* – по форме изометричные или вытянутые, распространены на сотни – тысячи квадратных километров, представлены рыхлыми и уплотненными породами в составе маломощных органогенно–терригенных и глауконит–терригенных формаций. В составе формаций насчитывается один–три рабочих пласта фосфоритов суммарной мощностью 1–4 м, сложенных ракушечными или желваковыми типами руд. Фосфоритовые руды бедные (3–18% *Р2О5*), нуждающиеся в обогащении; продуктивность месторождений 0,2–2,5 т/м2. Фосфориты и вмещающие их породы залегают практически горизонтально.

*Месторождения фосфоритов желвакового типа*, связанные с глауконит–терригенными фосфоритоносными формациями, в мировом балансе фосфатного сырья имеют небольшое значение (около 3,5 %). В России они занимают одно из ведущих мест как по запасам, так и по добыче. Основные их запасы сосредоточены в Восточно–Европейской провинции, в состав которой входят Волжский (месторождения Вятско–Камское, Егорьевское и др.), Днепровско–Донецкий (месторождения Полпинское, Трухачевское и др.) фосфоритовые бассейны, насчитывающие до 250 месторождений. Месторождения желваковых фосфоритов обнаружены в Тунгусско–Вилюйском бассейне,

Вятско–Камское месторождение желваковых фосфоритов Волжского бассейна (площадь 1900 км2), расположенное в Кировской области, является типично осадочным биохимическим платформенным. Оно приурочено к глауконит–терригенной мезозойской формации, залегающей практически горизонтально. Продуктивный горизонт мощностью около 6м содержит два фосфоритовых слоя, разделенных мелкозернистыми кварц–глауконитовыми песками, слабо сцементированными песчаниками и алевролитами. По составу среди желваковых руд различают глинистые и песчано–глинистые кварц–глауконитовые. Содержание *Р2О5* в руде 11 – 14 %, продуктивность более   
500 кг/м2, глубина залегания продуктивного горизонта до 30 м.

По условиям образования руды Вятско–Камского месторождения морские биохимические, частично переотложенные. По запасам (2300 млн. т) месторождение относится к весьма крупным. Руды добываются открытым способом. Из желваковых руд после обогащения получают фосфоритную муку.

*Ракушечные фосфоритовые руды* наиболее распространены в Прибалтийско–Ладожском (месторождение Кингисеппское и др.), в меньшей мере в Тунгусско–Вилюйском, Алтае–Саянском и Средне–Азиатском фосфоритоносных бассейнах. За рубежом месторождения ракушечных руд известны в Швеции и в США.

Кингисеппское месторождение фосфоритов площадью 80 км2 расположено в западной части Ленинградской области, в 10 км от г. Кингисеппа. По генезису Кингисеппское месторождение относится к морским осадочным биохимическим, возникшим за счет концентрации богатых фосфором раковин оболид в прибрежной части моря в условиях переходного к аридному климата. Раковины и их обломки приурочены к пескам. По запасам Кингисеппское месторождение крупное – более 300 млн. т. Ежегодная добыча 5 млн. т руды с содержанием *Р2О5* 7,2 %. На базе ракушечных руд месторождения работает крупный Кингисеппский фосфоритовый комбинат, производящий фосфоритовую муку и аммофос.

*Зернистые фосфоритовые месторождения*, приуроченные к терригенно–карбонатным формациям, широко распространены и слагают крупнейшие бассейны и месторождения Северной Африки – в Марокко, Алжире, Тунисе, Египте – и Восточного Средиземноморья – в Сирии, Ираке, Иране, Израиле, Турции.

*Осадочные механические месторождения* образуются в процессе морской абразии ранее сформированных фосфоритов различных генетических типов; приурочены они к терригенно–глауконитовым формациям и представлены галечниковыми и конгломератовыми типами руд.

Типичными примерами являются галечниковые и конгломератовые месторождения п–ова Флорида (США) и Подольское (Россия). В общем мировом балансе на месторождения галечниковых фосфоритов приходится около 1 %. В настоящее время месторождения галечниковых фосфоритов п–ова Флорида занимают первое место в мире по добыче.

*Осадочные континентальные биохимические месторождения гуано* представляют собой богатые фосфатами поверхностные скопления (мощность до 35 м) экскрементов морских птиц, летучих мышей и продуктов гниения, встречающихся в современных тропических зонах на океанических островах.

*Месторождения выветривания* возникают в процессе физического и химического выветривания фосфатсодержащих осадочных и магматических пород.

*Остаточные месторождения* формируются при накоплении продуктов выветривания на месте разрушения фосфатсодержащего субстрата (месторождение May–Кок во Вьетнаме).

*Остаточно–инфильтрационные месторождения* фосфоритов. Выветривание сопровождается переотложением продуктов разрушения. Наиболее благоприятным субстратом для образования остаточно–инфильтрационных месторождений являются осадочные карбонатные фосфатные породы (месторождения Ашинское в России, шт. Флорида в США); формируются месторождения также на карбонатно–терригенных отложениях (Телекское в России).

*Фосфориты выветривания* локализуются или в отдельных карстовых полостях сложной формы, или в виде плащевидных и линейных залежей на неровной поверхности выветривающихся пород.

*Месторождения выветривания* представлены карбонатными и терригенно–карбонатными формациями мощностью десятки – сотни метров, сложенными рыхлыми и каменистыми типами руд с содержанием *Р2О5*   
10–35 %. Месторождения выветривания небольшие. В Сибири известно   
10 месторождений выветривания: наиболее крупное из них – Белкинское в Кемеровской области и Телекское в Красноярском крае, на Урале разрабатывается Ашинское месторождение.

Мировой сырьевой потенциал природных фосфатов–апатитов и фосфоритов оценивается примерно в 30 млрд т *Р2О5*. Структурно он почти на 95 % представлен фосфоритами и только 5% приходится на апатиты, а в России уже резко преобладают апатиты (80 %). Лидирующее положение по запасам фосфатных руд занимает Африка (Марокко, Тунис, Западная Сахара, ЮАР), на втором месте Америка (США, Перу, Мексика, Бразилия). Азиатский континент характеризуется крупнейшими запасами фосфоритов в Китае, Иордании, Монголии, Саудовской Аравии. Значительными запасами фосфоритов обладает Австралия. Около 80 % суммарного объема мировой добычи (130 млн т товарной руды) приходится на США, Марокко, Россию, Казахстан, Китай. Ведущими производителями фосконцентрата являются США (36 млн т) и Марокко (20 млн т). Лидирующие позиции по производству апатитового концентрата занимают Россия (4,5 млн т), Бразилия (3 млн т), ЮАР (2,5 млн т).

***Задание 1 Заполнить таблицу***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Генетический тип месторождений апатитов | Примеры месторождений | Местонахождение | Геологический возраст |
|  |  |  |  |

***Задание 2 Заполнить таблицу***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Генетический тип месторождений фосфоритов | Примеры месторождений | Местонахождение | Геологический возраст |
|  |  |  |  |

***Задание 3 Работа с контурной картой***

На контурную карту нанести крупнейшие месторождении апатитов и фосфоритов.

**Литература**

1. Ерёмин, Н.И. Неметаллические полезные ископаемые / Н.И. Ерёмин.– М.: МГУ, 1991. – 284 с.

2. Карякин, А.Е. Промышленные типы месторождений неметаллических полезных ископаемых / А.Е. Карякин [и др.]. – М.: Недра. 1985.

3. Татаринов, И.К. Курс месторождений твердых полезных ископаемых / И.К. Татаринов [и др.]. – Л.: Недра, 1975.

4. Романович, И.Ф. Месторождения неметаллических полезных ископаемых / И.Ф. Романович. – М.: Недра. – 1986.

5 Минеральное сырьё. Руды фосфатные // Справочник. – М. ЗАО «Геоинформмарк», 1998 – 41 с.

**Практическая работа № 3 Алмазы**

***Краткие сведения***

*Алмаз* (*С*) является полиморфной модификацией углерода, кристаллизующейся в кубической сингонии. Большая часть алмазов встречается в природе в виде отдельных хорошо оформленных кристаллов или их обломков. Зачастую кристаллы алмаза срастаются друг с другом или же, как бы «прорастают» друг друга, образуя соответственно так называемые двойники срастания и прорастания. Практически во всех алмазных месторождениях присутствуют микро- и скрытокристаллические агрегаты, сложенные сотнями тесно сросшихся мельчайших зерен алмаза.

Уникальные свойства алмаза обусловлены особенностями его кристаллического строения. Элементарная кристаллическая ячейка алмаза представляет собой гранецентрированный куб. Атомы углерода (*С*) расположены в вершинах куба, в центрах его граней, а также в центрах 4-х несмежных октаэдров. Каждый атом углерода связан с четырьмя ближайшими атомами, симметрично расположенными по вершинам тетраэдра наиболее «прочной» химической связью – ковалентной. Идеальный кристалл алмаза можно представить себе, как одну гигантскую молекулу. Этим и объясняются многие, исключительно ценные свойства алмаза.

Алмаз является самым твёрдым из всех известных веществ и превосходит по абсолютной твёрдости корунд в 150 раз и кварц в 1000 раз. Сильный блеск и игра цвета у алмаза объясняются высокими показателем преломления и дисперсией. Для алмаза характерны совершенная спайность по октаэдру, хрупкость, высокая плотность, люминесценция в ультрафиолетовых и рентгеновских лучах, высокая теплопроводность. Он является диэлектриком, химически стоек- не растворяется ни в кислотах, ни в щелочах. Температура плавления алмаза 3700 – 4000°С. Сгорает алмаз на воздухе при 850 – 1000 °С, а в кислородной среде горит слабо-голубым пламенем при 720 – 800 °С полностью превращаясь в конечном счете в углекислый газ. При нагреве до 2000 – 3000 °С без доступа воздуха алмаз переходит в графит.

Большинство природных алмазов бесцветно, однако, нередки камни самых разнообразных цветов и оттенков. Хотя алмаз может быть почти любого цвета, алмазы синего цвета наиболее редки и потому наиболее ценны. Однако ослепительная игра их открывается лишь тогда, когда камень огранен в форму бриллианта. Такие алмазы ценятся очень высоко, но опять же выше всех среди прочих ценится алмаз, обладающий голубоватым оттенком. Наиболее часто встречаются алмазы со слабым желтоватым оттенком, а также зеленоватые. В США, Великобритании и ряде других странах искусственное окрашивание природных алмазов производят в лабораторных условиях путём бомбардировки их электронами высоких энергий.

Алмаз с чистой поверхностью гидрофобен, т.е. не смачивается водой. В то же время алмазы способны прилипать к некоторым видам жиров, на чем основаны некоторые способы извлечения алмазов из раздробленной алмазоносной породы.

Вес алмазов измеряется в каратах: 1 карат равен 0,2 грамма.

**Применение алмазов.**

В зависимости от качества алмазы делятся на ювелирные и технические. К ювелирным относят достаточно крупные кристаллы совершенной формы, окраски, исключительной прозрачности, без трещин, включений и иных дефектов. Минимальный размер ювелирных алмазов 0,05 карата (0,01 г); крупными считаются камни более 10 каратов; если масса алмаза превышает 50 каратов – ему присваивается имя.

Крупные алмазы распиливают, подвергают огранке и шлифовке с получением бриллиантов, при этом теряется более 50 % их массы. Назначение огранки -придать камню наибольший блеск и игру цветов. Стоимость бриллиантов достигает очень большой величины (более 10000 долларов за карат). Самый крупный алмаз ***Куллинан*** (масса 3106 карат, размеры 10×6,5×5 см) голубого цвета был обнаружен в 1905 г. в южноафриканской трубке Премьер; он представлял обломок октаэдрического кристалла. После распиловки из него было получено большое количество мелких бриллиантов и два очень крупных: Звезда Африки (530,2 кар) и Куллинан-2 (317,4 кар). Общая масса бриллиантов, полученных из этого алмаза, составила 1063,65 кар.

Но в 2007 году в Африке был найден самый крупный в истории человечества алмаз ювелирного качества массой около 6000 карат.

Существенное изменение технологии огранки алмазов произошло в связи с внедрением лазерной техники: использование луча лазера для распиловки кристаллов экономично и почти неограниченно расширяет ассортимент форм огранки.

В общей массе алмазного сырья свыше 75 % приходится на долю технических алмазов, среди которых различают борт, баллас, карбонадо и конго. *Борт* – мелкие неправильные кристаллы, сростки, непригодные для ювелирных целей. *Баллас* – шарообразные мелкозернистые агрегаты с более твердой, чем ядро, оболочкой. *Карбонадо* – тонкозернистые, пористые агрегаты черного, серого или зеленоватого цветов. *Конго* – наиболее низкосортные мелкие алмазы, пригодные лишь в качестве абразивного материала.

Технические алмазы используются для армирования буровых коронок, изготовления режущих инструментов и свёрл, для изготовления метчиков, твердомеров, фильеров, подшипников, износостойких покрытий в точных приборах, кювет и окошек в химическом производстве. Алмазные порошки используются для изготовления шлифовальных кругов, обрезных дисков, шлифовальных паст.

В связи со всё возрастающими требованиями к точности и скорости обработки металлов технические алмазы широко применяются в машиностроении, электронной, авиационной, автомобильной и других отраслях промышленности.

В последние годы во многих странах налажено промышленное производство синтетических алмазов не уступающих по технологическим показателям. природным техническим алмазам (в США, ЮАР, Ирландии, Швеции, Японии, России). Мелкие кристаллы синтетических алмазов получают при перекристаллизации графита в присутствии железа в качестве катализатора при высоких температурах и давлениях. Мировое производство синтетических алмазов технических сортов сопоставимо с объёмом добычи природных.

***Промышленно-генетические типы месторождений алмазов.***

***I коренные***:

* кимберлитовый (трубки Мир, Юбилейная, Удачная, Нюрбинская – Якутия; Премьер – ЮАР);
* кимберлит – лампроитовый (трубки им. Карпинского 1 и 2 – Архангельская область);
* лампроитовый (трубки Аргайл – Австралия, Прейри-Крик-США, Карелия, Полярный Урал);
* метаморфогенный (Кумбыкальское –Казахстан);
* импактный – взрывной (Попигайское – Россия).

***II Россыпные*** (россыпи Намибии, Бразилии, ЮАР, Индии, бассейна р. Конго, бассейна р. Вилюй в Якутии).

***Коренные месторождения алмазов.*** Коренные месторождения алмазов, связанные с кимберлитовыми трубками взрыва, успешно эксплуатируются на протяжении более 120 лет. На их долю приходится около 80 % добычи всех природных алмазов в мире. Кимберлитовые и лампоитовые тела приурочены к разломам активизированных древних платформ. Часто процессы активизации протекают на одной и той же платформе в несколько этапов. Так на Сибирской установлено три этапа: девонский, триасовый и юрско-меловой.

*Кимберлитовые трубки* – конусообразные, суживающиеся вниз рвущие тела округлой, реже более сложной формы в плане, прослеживаемые на большую глубину (до 2 км и более) среди пород платформенного чехла и кристаллических образований фундамента. Трубообразные тела имеют сечение от нескольких метров до нескольких сот и даже тысяч метров. Так, наиболее крупная трубка в мире Камафука – Камазамбо в Анголе имеет площадь 150 га. При этом поперечные сечения резко сокращаются с глубиной (трубка Мир в Якутии на глубине 600 м уменьшается в 5 раз). Часто трубки на глубине переходят в дайки. В разрезе в трубках различают кратерную, диатремовую и канальную части.

Алмазоносные кимберлитовые магматические тела сложены богатой летучими калиевой ультраосновной порфировой породой, которая носит название кимберлит. Ксеноморфные минералы, принесенные из мантии (оливин, флогопит, пикроильменит, гранат, хромдиопсид, алмаз) погружены в более тонкозернистую цементирующую массу. Породы обычно изменены постмагматическими процессами и превращены в серпентин –хлорит –карбонатную массу.

Собственно, кимберлиты слагают только отдельные участки кимберлитовых трубок, а большая часть их образована эксплозивными и эруптивными брекчиями, а также автолитовыми брекчиями (обломки кимберлитов ранних фаз внедрения). Кимберлитовые трубки являются многофазовыми образованиями, формировавшимися в результате многократного прорыва кимберлитовой магмы. Однофазовые трубки менее алмазоносны, чем многофазовые. Кратерные части трубок выполнены обломочным материалом сносимым с бортов после образования трубок. Они фиксируются только в слабоэродированных районах.

|  |  |
| --- | --- |
| http://webmineral.ru/upload/fbc06604ced487463c02a29a242af688.jpg | http://webmineral.ru/upload/394a9e8ec889228b4b6f64b2104b015c.jpg |
| ***Рисунок 1 – Объемная модель месторождения Зарница (вид с ЮВ)*** | ***Рисунок 2 – Объемная модель месторождения Юбидейное (вид с юга)*** |

Диатремовые части трубок, наибольшие по длине, сложены эксплозивными брекчиями и туфами кимберлитов. А канальные их части образованы массивными кимберлитами. Алмазоносны все части трубок, но максимальная алмазоносность отмечается в диатремовых частях. Алмазы заключены в основном в мелкозернистой кимберлитовой массе.

|  |
| --- |
| https://avatars.mds.yandex.net/get-zen_doc/127081/pub_5c2f1daf0129cd00aaa5b101_5c2f1e6141a41d00aa91a8c9/scale_1200 |
| ***Рисунок 3 – Кимберлитовая трубка*** |

Кимберлитовые алмазоносные трубки обычно встречаются группами и выделяются как кимберлитовые поля (районы). Кимберлитовые провинции состоят из десятков кимберлитовых полей, содержащих сотни кимберлитовых тел.

Добыча алмазов из кимберлитовых трубок в ЮАР ведется уже более 100 лет. Например, известная трубка Премьер разрабатывается с 1903 года. Здесь было добыто большое количество камней ювелирного качества, в том числе алмазы чернильно-синего цвета и крупнейший алмаз Кулинан.

В Якутской алмазоносной провинции, являющейся основным алмазодобывающим регионом России выделяется 7 алмазоносных районов. В них сосредоточены наиболее крупные разрабатываемые кимберлитовые трубки: Удачная, Интернациональная, Айхал, Юбилейная, Нюрбинская. На давно эксплуатирующихся трубках Мир и Айхал ведётся строительство подземных рудников.

К последней четверти XX в. относится обнаружение новой Архангельской алмазоносной провинции на севере Русской платформы (месторождения имени Ломоносова и Гриба).

*Лампроиты* – новый источник промышленных алмазов, открытый в конце 70-х годов в Австралии (месторождение Аргайл). Это - богатая калием и магнием основная или ультраосновная порода вулканического или интрузивного гипабиссального происхождения. Лампроитовые тела по сравнению с кимберлитовыми имеют большие размеры. По своему строению лампроитовые трубки в целом аналогичны кимберлитовым, но, судя по месторождению Аргайл, они быстрее выклиниваются на глубину переходя в дайки. Обычно лампроиты содержат мелкие технические алмазы. Из высокопродуктивной лампроитовой трубки Аргайл, открытой в 1979 году, уже в 1983 году было добыто 6,2 млн карат алмазов.

Существует пять гипотез о происхождении алмазов в кимберлитах и лампроитах: 1) алмазы кристаллизуются на мантийных глубинах, захвачены расплавом и вынесены магматическими потоками к поверхности; 2) они кристаллизовались в самой кимберлитовой или лампроитовой магме как ее естественные породообразующие минералы; 3) это результат ассимиляции ультраосновной магмой углеродсодержащих пород; 4) алмазы образуются в постмагматическую стадию в связи с пневматолитовыми и даже гидротермальными процессами; 5) формируются из глубинных подкоровых флюидных потоков. Первые две гипотезы поддерживаются многими геологаим.

*Другой тип коренных месторождений алмазов связан с импактитами – породами,* образовавшимися в результате ударов космических тел о поверхность Земли. В результате сверхвысоких давлений, возникших при ударе, произошел твёрдофазовый переход содержащегося в этих породах графита в алмаз. Алмаз представлен мелкими поликристаллическими агрегатами, нередко с примесью гексагональной модификации алмаза – лонсдеелита. В настоящее время этот тип месторождений не имеет промышленного значения. Примером подобного типа месторождений является Попигайская астроблема.

Новый тип коренных месторождений алмазов, открытый в 60-х годах, приурочен к кристаллическим породам метаморфического комплекса Кокчетавского массива Казахстана. Алмазы установлены в биотитовых гнейсах, биотит-кварцевых, гранат-пироксеновых, пироксен- карбонатных породах. Преобладающий размер алмазов не превышает 100 мкм., поэтому они могут использоваться в качестве абразивного материала. В настоящее время месторождения этого типа не разрабатываются.

***Россыпные месторождения.*** Месторождения алмазов этой генетической серии представлены разнообразными россыпями, которые сформировались в результате либо выветривания (обломочные месторождения), либо осадконакопления (механические осадки) и представляют собой вторичные концентрации алмазов. Эксплуатация россыпей алмазов технически и экономически более выгодна по сравнению с эксплуатацией коренных месторождений. Она осуществляется в основном открытым способом. Во многих россыпях концентрации алмазов превышают десятки каратов на 1 м3 рыхлой породы.

***Элювиальные россыпи.*** Обломочные месторождения кор выветривания образуются при выветривании алмазоносных кимберлитовых трубок, алмазоносных песчаников и конгломератов (древние ископаемые россыпи), вскрытых эрозией. Они сложены рыхлыми продуктами химического и физического выветривания алмазоносных пород, в которых повышается концентрация алмазов и облегчаются условия их извлечения.

Наиболее продуктивная кора выветривания возникает в самых верхних горизонтах кимберлитовых трубок во влажном и теплом климате. Она выделяется под названием «желтая земля» и представляет собой глиноподобную массу желтого цвета, состоящую из карбонатов, опала, барита и глинистых минералов. Алмазы в ней находятся в «свободном» состоянии и извлекаются промывкой. Мощность «желтой земли» достигает десятков метров. В арктическом климате элювий кимберлитов сформирован дресвой и мелкой щебенкой, распространяющейся на глубину 3–5 м.

Аллювиальные россыпи являются наиболее распространенными и важными в промышленном отношении среди экзогенных месторождений алмазов. Они приурочены к речным отложениям и в возрастном отношении подразделяются на древние и современные (молодые).

Древние россыпи не эксплуатируются, за исключением докембрийских конгломератов в Индии и ЮАР – Витватерсранд (в последнем случае алмазы извлекаются попутно при добыче золота). Первичный источник алмазов - денудированные кимберлиты. Древние россыпи являются важным источником алмазов современных элювиально-делювиальных россыпей.

Современные россыпи подразделяют на долинные, террасовые, пойменные и русловые Долинным россыпям свойственна концентрация алмазов в грубозернистых отложениях.

Прибрежно-морские россыпи алмазов образуются на пологих океанических берегах при выносе алмазов реками из глубин континента и разносе вдоль побережья. Наиболее промышленно значимые россыпи этого типа находятся в Намибии и ЮАР. Содержание алмазов в них достигает 100 и более карат на кубометр породы, причем практически все они (90 -95%) ювелирных сортов, Экономическая ценность месторождений такого типа велика, так как разработка их достаточно дешева.

***Задание 1 Работа с географической картой***

На географической карте показать месторождения алмазов и алмазоносные провинции (рисунок 4).

***Задание 2 Составить характеристику одного из месторождений алмазов (подготовить презентацию).***

1. Месторождение имени М. Ломоносова. Россия

## Джваненг. Ботсвана

## Кимберли. ЮАР

## Катока. Ангола

## Аргайл. Австралия

## Айхал. Россия

1. **Юбилейный (Россия)**
2. **Удачный (Россия)**
3. **Мир (Россия)**
4. **Месторождение им. В.П. Гриба (Россия)**
5. **Орапа (Ботсвана)**
6. **Ботоубинская (Россия)**

**Литература**

1. Ерёмин, Н.И. Неметаллические полезные ископаемые /   
Н.И. Ерёмин.– М.: МГУ, 1991. – 284 с.

2. Карякин, А.Е. Промышленные типы месторождений неметаллических полезных ископаемых / А.Е. Карякин [и др.]. – М.: Недра. 1985.

3. Татаринов, И.К. Курс месторождений твердых полезных ископаемых / И.К. Татаринов [и др.]. – Л.: Недра, 1975.

4. Романович, И.Ф. Месторождения неметаллических полезных ископаемых / И.Ф. Романович. – М.: Недра. – 1986.



***Рисунок 5 – Алмазоносные субпровинции и площади, их ресурсный потенциал (млн карат),***

***доля в запасах РФ (%) и основные месторождения***

**Практическая работа № 4 Камнесамоцветное сырье**

***Краткие сведения***

К ювелирным и поделочным камням (***камнесамоцветное сырье***) относятся минералы и горные породы, которые обладают рядом свойств, определяющих эстетическую ценность изготовляемых из них изделий. Наиболее важные из этих свойств: цвет, прозрачность, яркий блеск, высокое лучепреломление и светорассеяние, иризация, опалесценция, химическая устойчивость, большая твердость. У различных драгоценных камней, как правило, наиболее интенсивно проявлен какой-либо один из перечисленных признаков. Например, обычно бесцветный алмаз отличается очень высокой дисперсией, а рубин и сапфир, наоборот, характеризуются низким коэффициентом дисперсии, но великолепно окрашены. Некоторые яркоокрашенные ювелирные камни полупрозрачны (благородный жадеит, хризопраз) или даже непрозрачны (бирюза).

Для максимального выявления всех достоинств драгоценных камней им придают правильную многогранную или сфероидальную форму с полированной поверхностью. В настоящее время применяются три основных типа огранки: бриллиантовая, ступенчатая и кабошоном, а также всевозможные смешанные формы. Бриллиантовая огранка придаёт прозрачному камню совершенный блеск и световую игру.

В зависимости от сочетания физических свойств, определяющих эстетический облик минералов, частоты их встречаемости и, соответственно, стоимости ювелирные и поделочные камни подразделяются на ряд групп по классификации Е.Я. Киевленко.

**Ювелирные (драгоценные) камни:**

***1 порядок.*** Алмаз, изумруд, синий сапфир, рубин, александрит.

***2 порядок.*** Благородный жадеит, оранжевый, желтый, фиолетовый и зеленый сапфир, благородный черный опал.

***3 порядок.*** Демантоид, благородная шпинель, благородный белый и огненный опал, аквамарин, топаз, родонит, лунный камень, красный турмалин.

***4 порядок.*** Синий, зеленый, розовый и полихромный турмалин, благородный сподумен, циркон, берилл, бирюза, хризолит, хромдиопсид, аметист, хризопраз, пироп, альмандин, цитрин.

**Ювелирно-поделочные камни:**

***1 порядок.*** Раухтопаз, гематит-кровавик, янтарь, горный хрусталь, жадеит, нефрит, лазурит, малахит, чароит, авантюрин.

***2 порядок.*** Агат, цветной халцедон, кахолонг, амазонит, родонит, гелиотроп, розовый кварц, иризирующий обсидиан, обыкновенный опал, лабрадор, беломорит и другие непрозрачные иризирующие полевые шпаты.

***Поделочные камни:*** яшмы, письменный гранит, окаменелое дерево, мраморный оникс, лиственит, обсидиан, гагат, джеспилит, селенит, флюорит, авантюриновый кварцит, агальматолит, цветной мрамор, серпентинит и др.

***Ювелирные (драгоценные) камни*** используются для изготовления дорогих украшений и предметов роскоши. Это главным образом редкие, эффектные, преимущественно прозрачные кристаллы. Их отличают три главных достоинства: красота, долговечность, редкость. Сюда следует добавить также особое экономическое свойство этих камней – их высокую стоимость, сосредоточенную в небольшом физическом объеме. Поэтому наряду с благородными металлами они служат валютным эквивалентом государственного достояния, а наиболее совершенные и крупные из них являются национальными сокровищами. Как правило, ювелирные камни подвергаются самой разнообразной огранке; единицей их измерения является карат (0,2 г),

Ювелирно-поделочные камни по своим стоимостным характеристикам значительно уступают ювелирным. Ювелирно-поделочные камни в виде плоских вставок и кабошонов применяются в массовых ювелирно-галантерейных изделиях, а также представляют собой великолепный материал для камнерезных поделок. Оправлены они обычно серебром или простыми металлами, имитирующими драгоценные. Лучшие образцы камней этой группы, например, малахита, лазурита и янтаря, вполне сопоставимы с драгоценными камнями четвертого порядка. Большое значение имеют художественные достоинства изделий и мода на них. Масса ювелирно-поделочных камней измеряется в граммах и килограммах.

Поделочные камни отличают яркие окраски и всевозможные рисунчатые текстуры, они являются сырьем для изготовления разнообразных художественных предметов и сувениров. Некоторые из них иногда используются как декоративно-облицовочное сырье, а твердые с мелким рисунком – в ювелирно-галантерейном производстве. Масса поделочных камней измеряется в килограммах и тоннах.

Многие ювелирные и поделочные камни благодаря своим особым свойствам (высокая твердость и абразивность, однородность, вязкость и прозрачность) применяются не только в ювелирном деле, но и в различных отраслях промышленности.

**Генетические типы промышленных месторождений**

***Магматогенные***: алмаз, рубин, сапфир, хризолит, циркон (Якутия – Россия, ЮАР, Индия, Шри-Ланка, Бразилия, Тайланд).

***Пегматитовые***: аквамарин, александрит, топаз, турмалин, горный хрусталь, морион и раухтопаз, флюарит, аметист, письменный гранит, амазонит, солнечный и лунный камень (Бразилия, Казахстан, Украина, Забайкалье – Россия).

***Контактово-метасоматические***: изумруд (Урал), рубин (ЮВ Азия), хризолит, благородная шпинель, александрит, гранат (Таджикистан).

***Высокотемпературные пневматолито-гидротермальные***: аквамарин, топаз, дымчатый кварц, турмалин (Забайкалье и Казахстан).

***Гидротермальные средне-низкотемпературные***: изумруд (Колумбия), горный хрусталь, аметист, розовый кварц, агат (Урал, Кольский полуостров, Армения и др.).

***Метаморфогенные***: рубин, сапфир, благородная шпинель, альмандин, лазурит, нефрит, жадеит, яшмы, родонит (Урал, Алтай).

***Месторождения кор выветривания и зон окисления***: опал, бирюза (Афганистан, Иран, Армения,); зона окисления меднорудных месторождений – малахит и азурит (Урал, Заир).

***Биохимические месторождения***: жемчуг, перламутр, кораллы, гагат, янтарь.

***Россыпные месторождения*** – образующиеся при разрушении коренных месторождений: алмаз, изумруд, рубин, сапфир, шпинель, гранат, корунд, нефрит, агат, циркон и др. Крупнейшие россыпные месторождения рубинов и сапфиров находятся в Индии (Кашмир) и Ю-В Азии (Тайланд, Камбоджа, Бирма).

В настоящее время налажено массовое производство синтетических аналогов многих природных ювелирных камней, полностью идентичным им по физическим и химическим свойствам (алмаз, рубин, сапфир, изумруд, цветные разновидности кварца, шпинель, александрит, бирюза и др.). Стоимость синтетических камней обычно в десятки, а иногда в сотни раз меньше природных. Кроме того, существуют имитации драгоценных камней, изготавливаемые из свинцового стекла – страза. Внешне они похожи на природные камни, но отличаются от них по составу и основным физическим свойствам.

*Краткая характеристика ювелирных камней первого порядка.*

***Благородный корунд (рубин и сапфир),*** отличающийся высокой твёрдостью (9 по шкале Мооса) и абразивностью, а также значительной гаммой цветов и оттенков, Рубином принято называть прозрачные корунды от светло-красного до густо-малинового цвета. К сапфирам относятся не только традиционные голубые или синие разновидности благородного корунда, но и зелёные, желтые, фиолетовые, бесцветные, за исключением красных. Химически чистый корунд бесцветен. Красная окраска рубинов обусловлены наличием примеси хрома, а сапфира - примесями титана, железа, марганца, меди, ванадия и др. Известны камни с проявлением астеризма в виде 6-лучевой звезды или эффекта «кошачьего глаза», обусловленных закономерно ориентированными включениями иголочек рутила или трубчатыми пустотами.

Главным промышленным типом месторождений благородного корунда являются элювиально-делювиальные и аллювиальные (террасовые и долинные) россыпи, широко представленные в Бирме, Австралии, Индии, Шри-Ланке, Таиланде, Камбодже и др. Коренные источники этих россыпей генетически разнообразны, представляя вкрапленность кристаллов сапфира или рубина в базальтах (Австралия, Камбоджа, Таиланд), щелочных лампрофирах, силикатных флогопит-скаполит-плагиоклазовых скарнах (Шри-Ланка, Бирма), слюдитовых грейзенах (Танзания и др.), сиенитовых и миаскитовых пегматитах (Россия, Канада, Шри-Ланка, Бирма), кристаллических сланцах и гнейсах.

Кроме того, выделяются в качестве геолого-промышленных типов: жилообразные, гнездовые скопления рубина в магнезиальных скарнах среди доломитовых мраморов гнейсовых толщ, интрудированных гранитоидами (месторождения Могокского района Бирмы, Афганистана и Таиланда); жилы и линзы гранитных пегматитов с крупными кристаллами сапфира и рубина в контактовой с доломитами и мраморами зоне (Индия).

Всемирно известный Могокский рубиноносный район в Бирме является источником самого высокосортного карминово-красного рубина цвета «голубиной крови».

Шри-Ланка является единственным поставщиком на мировой рынок наиболее ценных голубых звёзчатых сапфиров, которые котируются наравне с небесно-синими кашмирскими сапфирами (Индия). Их добыча производится из многочисленных аллювиальных россыпей. Вместе с сапфиром они содержат шпинель, циркон, цветной турмалин, топаз, гранат, аквамарин, александрит и др. Здесь в 1981 г. был нйден крупнейший в мире кристалл сапфира голубого цвета массой 6033,4 г и размерами 28х18 см.

***Благородный берилл.*** Кристаллы берилла отличаются призматическим габитусом, стеклянным, чуть жирноватым блеском, прозрачностью, высокой твёрдостью (7,5-8).Окраска берилла весьма разнообразна: травяно-зелёный изумруд, голубой, иногда с зеленоватым оттенком аквамарин, розовый воробьевит, золотисто-желтый гелиодор, землянично-красный биксбит, сапфирово-синий аквамарин-максис и др.

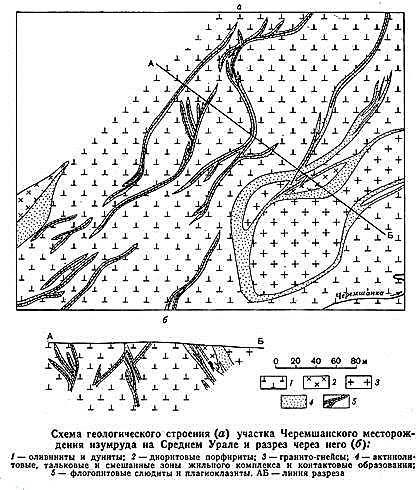
**Главнейшие типы промышленных месторождений берилла:**

1. Жильные и линзообразные пегматиты в базитах, ультрабазитах и биотитовых сланцах с кристаллами аквамарина, гелиодора и воробьевита (Бразилия, Норвегия и др.).

2. Жилы и жильные зоны флогопитовых слюдитов с вкрапленностью изумрудов среди ультрабазитов, прорванных гранитоидами. Совместно с изумрудами нередки александрит, берилл, турмалин, флюорит. Примером данного типа месторождений являются в нашей стране группа месторождений Урала, объединенных под общим названием «Изумрудные Копи Урала (Малышевское, Черемшанское и др.) Рудные зоны месторождений приурочены к телам ультраосновных пород и располагаются вблизи их контакта с гранитами и диоритами. Они представлены сюдитовыми жилами сложной формы, сложенными флогопитом (Рис 3). В них и содержится основная масса изумрудов. Месторождения такого типа имеются также в Зимбабве, ЮАР, Индии, Пакистане, Австрии.

3. Кальцитовые и доломит-кальцитовые прожилки, жилы и штокверки с вкрапленностью кристаллов изумруда в черных глинистых сланцах и углистых известняках. Призматические кристаллы изумруда ассоциируют с кальцитом, кварцем, альбитом и баритом, образуя скопления в полостях. Представителями данного типа являются знаменитые телетермальные месторождения Колумбии, которой принадлежит большая часть мировой добычи изумрудов. В настоящее время в Колумбии известно около 180 месторождений изумруда, основная добыча приходится на месторождение Музо. Средняя длина кристаллов изумрудов из месторождений Колумбии составляет 2-3 см, иногда достигая 10-15 см.Форма кристаллов – шестигранная призма, преобладает светло-зелёный цвет, густоокрашенные камни встречаются реже. К этому же типу принадлежит ряд месторождений Бразилии и Афганистана.

4. Аллювиальные россыпи с окатанной галькой ювелирного зелёного берилла, аквамарина и гелиодора являются существенным источником промышленной добычи в Бразилии, Зимбабве,.Австралии, Мадагаскаре и Шри-Ланке.



1 – оливины и дуниты; 2 – диоритовые порфиры; 3 – гранито-гнейсы; 4 – актинолитовые, тальковые и смешанные зоны жильного комплекса и контактового образования; 5 – флогопитовые слюдиты и плагиоклазы. АБ – линия разреза

***Рисунок 6 – Схема геологического строения (а) участка Черемшанского месторождения изумруда на Среднем Урале и разрез через него (Б)***

*Александрит (хризоберилл).* Александрит – разновидность хризоберилла изумрудно-зелёного цвета при дневном освещении и фиолетово-красного при электрическом. Кристаллы призматической формы, блеск стеклянный, твёрдость 8,5. Основная масса александритов добывается совместно с турмалином, гранатом, топазом из аллювиальных россыпей Бразилии, Шри-Ланки и Мадагаскара, где коренными источниками александрита являются бериллоносные пегматиты. Кроме того, александрит встречается в изумрудоносных флогопитовых слюдитах (Изумрудные Копи Урала, месторождения Зимбабве, ЮАР, Индии и Пакистана.

***Задание 1 Подготовить презентацию на тему «Ювелирные и поделочные камни»*** *(Ювелирные (драгоценные) камни: 1 порядок. Алмаз, изумруд, синий сапфир, рубин, александрит. 2 порядок. Благородный жадеит, оранжевый, желтый, фиолетовый и зеленый сапфир, благородный черный опал. 3 порядок. Демантоид, благородная шпинель, благородный белый и огненный опал, аквамарин, топаз, родонит, лунный камень, красный турмалин. 4 порядок. Синий, зеленый, розовый и полихромный турмалин, благородный сподумен, циркон, берилл, бирюза, хризолит, хромдиопсид, аметист, хризопраз, пироп, альмандин, цитрин. Ювелирно-поделочные камни: 1 порядок. Раухтопаз, гематит-кровавик, янтарь, горный хрусталь, жадеит, нефрит, лазурит, малахит, чароит, авантюрин. 2 порядок. Агат, цветной халцедон, кахолонг, амазонит, родонит, гелиотроп, розовый кварц, иризирующий обсидиан, обыкновенный опал, лабрадор, беломорит и другие непрозрачные иризирующие полевые шпаты).*

**Литература**

1 Ерёмин, Н.И. Неметаллические полезные ископаемые / Н.И. Ерёмин.– М.: МГУ, 1991. – 284 с.

2. Карякин, А.Е. Промышленные типы месторождений неметаллических полезных ископаемых / А.Е. Карякин [и др.]. – М.: Недра. 1985.

3. Татаринов, И.К. Курс месторождений твердых полезных ископаемых / И.К. Татаринов [и др.]. – Л.: Недра, 1975.

4. Романович, И.Ф. Месторождения неметаллических полезных ископаемых / И.Ф. Романович. – М.: Недра. – 1986.

5 Киевленко, Е.Я. Геология месторождений драгоценных камней /   
Е.Я. Киевленко. – М.: Недра, 1982.

6 Киевленко, Е.Я. Геология месторождений поделочных камней /   
Е.Я. Киевленко. – М.: Недра, 1983.

7 Минеральное сырьё. Камнесамоцветное сырьё //Справочник. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998 – 77 с.

**Практическая работа № 5 Естественные строительные материалы**

***Краткие сведения***

*Строительные камни.* Строительные камни представляют обширную группу нерудных полезных ископаемых, занимающих по объемам потребления одно из первых мест в строительном производстве. Являясь инертными материалами, они включают пильные (стеновые) и облицовочные камни и наряду с песками и песчано-гравийными смесями составляют главный комплекс природных строительных материалов, используемых в естественном состоянии без применения термохимической обработки.

Под строительными камнями понимаются скальные горные породы, перерабатываемые на различные материалы (монолиты, блоки, плиты, щебень, песок дробления и др.) механическим путем: дроблением, распиловкой, фракционированием и т.п. В качестве строительных камней используют горные породы разного происхождения: интрузивные, эффузивные, осадочные, метаморфические. Определяющими являются физико-механические свойства, зависящие не только от состава, но и от структуры и текстуры пород. В наибольших количествах применяют карбонатные породы, граниты и сходные с ними горные породы. Реже используют габброиды, базальтоиды, песчаники.

От вида получаемого конечного продукта зависит и способ добычи и обработки камня. Выделяют дроблёный или «рваный» камень и штучный камень. «Рваный» камень получают в результате взрывных работ в карьерах, а штучный – путём распиловки и последующей обработки. В результате получают следующие виды продукции.

*Бутовый камень (бут)* – камень неправильной формы размером более 140 мм, используется для кладки фундаментов, стен нежилых зданий и других сооружений в качестве заполнителя бутобетона при возведении массивных сооружений (плотины, молы, дамбы и др.), а также для отмосток при дорожном строительстве и других работах.

*Штучные камни* представляют собой изделия правильной геометрической формы с обработанными поверхностями. Основной вид такой продукции – бортовые камни, предназначаемые для выделения проезжей части дорог, въездов, тротуаров. *Брусчатые камни (брусчатка)* – весьма долговечный материал для дорожных покрытий.

*Прочие виды штучных изделий*: архитектурно-отделочные детали, парапеты, ступени, плиты подоконные, цокольные и облицовочные, промышленные каменные изделия (валы, бегуны, жернова) производятся преимущественно на карьерах облицовочных камней и специальных предприятиях. Они широко используются для кладки стен зданий и промышленных сооружений, для облицовки стен (облицовочный камень). Монументально-декоративный камень, как правило, подвергается специальной распиловке, шлифовке, полировке и применяется для сооружения памятников, монументов, специальных постаментов, изготовления декоративных изделий, отделки зданий и др.

*Пильные камни* – блоки стандартного размера вырезаются дисковыми фрезами непосредственно в массиве горной породы. Представляют они эффективный стеновой материал, используются также для изготовления тонких армированных перегородок, перемычек. Дома из пильного камня отличаются повышенными звуко- и теплоизоляционными свойствами и не требуют ремонта внешних стен.

*Щебень* – наиболее массовый продукт, его выпуск составляет обычно 85-95 % от объема всей товарной продукции. Щебень выпускается разделенным на фракции. Щебень используют:

* в качестве основного заполнителя (тяжелого) бетона во всех бетонных и железобетонных строительных конструкциях;
* в качестве крупного заполнителя асфальто-(и цементо-) бетона и балластного слоя покрытий автомобильных дорог и аэродромов;
* для балластировки железнодорожных путей;
* для всякого рода отсыпок, отмосток, планировочных работ.

Инертные строительные материалы, получаемые при переработке строительных камней используют в качестве заполнителей тяжёлых бетонов.

Для легких бетонов используют щебень, полученный из пористых горных пород, а также искусственные пористые материалы, обычно керамзит, реже термолит, металлургические и топливные шлаки и др.

Дробленый песок-отсев используют в качестве заполнителя совместно со щебнем в бетонных (и асфальтобетонных) смесях и самостоятельно в штукатурных и кладочных растворах, а также во всякого рода балластных и планировочных отсыпках.

Промышленные требования к естественным строительным материалам чрезвычайно разнообразны, поскольку разнообразны и области их использования, основывающегося на различных физических и технологических свойствах камня.

Наиболее важные свойства – прочность и долговечность. Прочность – это способность камня не нарушать целостности при механических воздействиях, определяемых сжатием, растяжением, изгибом, абразивным износом и др.

Долговечность обусловливает способность камня сохранять прочностные, а для облицовочного и особенно монументного камней также и декоративные характеристики в результате длительного воздействия на породу агентов физического и химического выветривания.

Прочность и долговечность строительного камня зависят от минерального состава породы, структурно-текстурных особенностей, трещиноватости, пористости и многих других факторов.

Минеральный состав в первую очередь предопределяет долговечность строительного камня. Из породообразующих минералов магматических горных пород наиболее стойким к химическому и механическому разрушению является кварц. Поэтому такие породы, как кварциты – наиболее устойчивы и долговечны.

Полевые шпаты менее устойчивы, они подвергаются разложению в процессе выветривания, что снижает прочностные характеристики породы и ее долговечность. Но в свежем, невыветренном виде кварц-полевошпатовые породы (граниты, сиениты, диориты и др.) относятся к высокопрочностным и долговечным.

Темноцветные минералы (пироксены, амфиболы) и нефелин в свежем виде обладают высокой механической прочностью, но под действием колебаний температуры и окисления эти минералы со временем разлагаются, порода, состоящая из них, теряет прочностные свойства.

Еще более сказывается на долговечности породы присутствие в ней слюды – мусковита и биотита. В процессе морозного выветривания минералы расслаиваются, а порода становится трещиноватой, менее прочной.

Карбонатные породы – известняки, доломиты и мраморы, несмотря на невысокое сопротивление карбонатных минералов абразивному износу, характеризуются относительно высокой прочностью на сжатие и представляют собой прекрасный строительный камень, идущий как для внутренней, так и для наружной отделки строений.

Важным обстоятельством в оценке прочностных характеристик строительного камня являются текстурно-структурные особенности горной породы. Так, породы с массивной текстурой в целом более долговечны по сравнению с аналогичными по минеральному составу породами с полосчатой или сланцеватой текстурами. Крупнозернистые породы менее устойчивы по сравнению с мелко- и тонкозернистыми.

На прочностные характеристики строительного камня большое влияние оказывает трещиноватость. Различают микро- и макротрещиноватость. Сильно трещиноватые породы наблюдаются в зоне тектонических деформаций; они характеризуются пониженной по сравнению с нетрещиноватыми породами прочностью. Макротрещиноватость выражается наличием в породе хорошо различимых трещин отдельности и кливажа. От их расположения зависит размер наиболее крупных монолитных кусков породы.

Окончательно оценивается горная порода как строительный камень по результатам лабораторных испытаний. Для всех пород устанавливаются объемная масса и плотность, пористость, водопоглощение, морозоустойчивость, прочность на сжатие, растяжение и изгиб, абразивная истираемость, вязкость и др.

Способность камня впитывать воду в атмосферных условиях называется водопоглощением. Строительные камни с малой величиной водопоглощения устойчивы к выветриванию, в то время как породы с высокой водопоглотительной способностью (более 5 %) недолговечны.

О морозостойкости породы свидетельствует значение коэффициента морозоустойчивости, который показывает, насколько прочность строительного камня во влажном состоянии снижается после цикличного (15–25 раз) замораживания и оттаивания по сравнению с прочностью в сухом состоянии. Чем ниже пористость, тем выше долговечность и морозостойкость камня. Предел прочности на сжатие – исключительно важная характеристика строительного камня, регламентируемая ГОСТами для различных видов строительных работ.

Для строительных материалов, используемых для дорожного покрытия, лестничных маршей, тротуаров, устанавливают абразивную истираемость

В зависимости от применения камня дополнительно изучают такие его свойства, как обрабатываемость, вязкость, огнеупорность, полируемость, устойчивость окраски и др.

Промышленные требования к качеству строительного камня чрезвычайно разнообразны; они зависят от назначения камня и регламентируются соответствующими ГОСТами. Так бутовый камень, камень для дорожного покрытия, для гидротехнических сооружений должны обладать высокой прочностью на сжатие. Иным требованиям должен удовлетворять стеновой камень (туфы, ракушняки); для этих целей применимы горные породы с низкой объемной массой и достаточно высокой общей пористостью. Такие породы характеризуются высокими теплоизоляционными свойствами. Кроме того, стеновой камень должен легко распиливаться и обрабатываться на блоки и плиты требуемых размеров, а также выдерживать без повреждений не менее 10-15 замораживаний

**Генетические типы промышленных месторождений.**

По происхождению выделяют ***магматические, осадочные и метаморфогенные месторождения*** строительного камня (таблица 5.1).

***Магматические месторождения*** представлены интрузивными массивами и покровами, потоками, экструзивными телами вулканических излившихся продуктов и их пирокластических аналогов, сложенных разнообразными породами (граниты, сиениты, диориты, габбро, диабазы, базальты, андезиты, липариты, туфы и т. п.) освоенных районах и могли отрабатываться карьерами. Эти месторождения разнообразны по возрасту горных пород и приурочены к горно-складчатым геосинклинальным областям и выступам древних кристаллических массивов. На долю магматических месторождений приходится большая часть добываемого строительного камня. Причем производство штучного и особенно монументного камня в основном связано с этими месторождениями.

***Осадочные месторождения*** строительного камня образованы пластовыми залежами литифицированных обломочных (песчаники, конгломераты) и органогенно-химических (ракушечники, известняки, доломиты и др.) пород палеозойского (Прибалтика, центр европейской части СНГ, Урал, Казахстан) и мезо-кайнозойского (юг Украины, Кавказ) возраста. Разрабатываются осадочные месторождения в основном для получения щебня и бута, в меньшей степени для стенового и облицовочного камня. Так как эти месторождения расположены в экономически наиболее развитых районах страны, где существует дефицит магматогенного строительного камня, они интенсивно эксплуатируются и дают около трети всей продукции.

Таблица 5.1 – Промышленные типы месторождений строительных камней

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Типы | Формы продуктивных тел | Продуктивные породы | Генетические типы | Размеры, м | | Примеры эксплуатируемых месторождений |
|  |  |  |  | в плане | мощность |  |
| крупные массивы | батолиты, крупные штоки | гранитоиды | магматогенные-интрузивные | тысячи | | Каменногорское (Мурманская  обл.), Смолинское (Урал) |
| штоки, мощные жилы и дайки, купола | штокообразные тела | габброиды |  | сотни | | Гусевогорское (Урал) |
|  | рифы | известняки | биогенные | сотни | десятки сотни | Шах-Тау (Башкирия) |
| пласты, пластообразные залежи | покровы, потоки | базальтоиды, туфы вулканические | магматоген  но-эффузивные | тысячи | до сотен | Кайерканское (Красноярский край), Октемберянское  (Армения) |
|  | толщи | мраморы, кварциты | метаморфогенные |  |  | Слюдянское (Иркутская обл.), Шокшинское (Карелия) |
|  | слои | карбонатные породы, песчаники и др. | осадочные |  |  | Мелехово-Федотовское (Владимирская обл.), Аникинское (Ростовская обл.) |

***Метаморфогенные месторождения*** представлены преимущественно пластообразными залежами мраморов, кварцитов, гнейсов, амфиболитов среди докембрийских кристаллических (Украина, Карело-Кольский регион), палеозойских (Урал, Казахстан,) и мезозойских (Кавказ) пород. Главное значение имеет отработка месторождений мраморов, использующихся для самых различных строительных целей.

*Облицовочные камни.* Природные облицовочные камни представляют специфическую группу строительных материалов, промышленная ценность которых определяется прежде всего их декоративными свойствами. Наряду с этим важным свойством облицовочных камней является механическая прочность, способность принимать различные виды обработки поверхности и сопротивляемость атмосферным воздействиям – погодоустойчивость.

В качестве облицовочных камней используются горные породы различного происхождения: *интрузивные* – граниты, сиениты, диориты, габбро-нориты, лабрадориты; *эффузивные* – базальты, диабазы, андезиты, порфиры, порфириты, вулканические туфы; *метаморфические* – мраморы, кварциты*; осадочные* – известняки, доломиты, травертины, гипсы, песчаники, конгломераты и брекчии. Наиболее широко используются граниты и мраморы.

Не менее важным фактором для оценки таких пород как граниты, габбро, сиениты, лабродориты является способность раскалываться в заданном направлении под ударным напряжением. Выход блоков из горной массы зависит от системы трещиноватости массива и способов добычи блоков.

К *декоративным свойствам камня* относятся: 1) цвет (окраска) горной породы; 2) наличие рисунка; 3) структурно-текстурные особенности. В частности, для статуарного мрамора крайне важны его однородность и способность просвечиваться на глубину 1-3 см.

Облицовочные камни используют следующим образом:

* основное назначение – облицовка поверхностей строительных конструкций плитами для защиты их от разрушения в процессе эксплуатации и придание им декоративности;
* блочный камень – для кладки цокольных поясов зданий, стенок набережных, устоев мостов и других сооружений;
* монолитные крупноразмерные блоки – для колонн, скульптурных композиций, мемориальных и других сооружений, а также дефибрерные валы для целлюлозно-бумажного производства;
* архитектурно-отделочные детали, профильные элементы, ступени, подоконники, бортовые камни, электротехнические доски и другие более сложные резные детали;
* мраморный щебень и крошка – как декоративный наполнитель различных мозаичных изделий, отделочных деталей, наружной штукатурки;
* художественно-поделочные изделия, скульптуры, памятники;

В России крупным районом добычи магматических и метаморфических пород высокого качества является Балтийский щит (Кольский полуостров, Карелия): граниты разных расцветок и рисунков используемые в качестве облицовочного и монументального камня. В Карело-Кольском регионе, включающем северную часть Ленинградской области, эксплуатируются месторождения изверженных и метаморфических пород. Граниты в окрестностях городов Выборга и Питерлакса характеризуются очень крупной отдельностью, обусловленной редкой трещиноватостью гранитного массива. Это обеспечивает возможность добычи крупных монолитов. Высота колонн Исаакиевского собора в Ленинграде, сделанных из этого гранита, 17 м, Александровской колонны, воздвигнутой в ознаменование победы над Наполеоном, 26,6 м.

Общепризнана архитектурно-декоративная ценность монументного и облицовочного камня многих месторождений, представленных разнообразными по текстурно-структурным признакам и рисункам гранитами, сиенитами, монцонитами, габброноритами и другими породами. Исключительными свойствами обладают малиново-красные кварциты Шокшинского месторождения, использовавшиеся при сооружении Мавзолея В.И. Ленина. Другим крупным районом является Урал. Облицовочные и монументные камни Урала (граниты яшмы, мрамор) широко использованы при облицовке станций метрополитенов в Москве, Ленинграде и других городах (месторождения Мраморское, Уфалейское, Нижне-Тагильское и Др.). Многочисленные месторождения магматических и метаморфических пород известны на Алтае, Саянах, Забайкалье, Приморском крае (граниты, базальты, габбро-диабазы, туфы).

Ведущей страной мира в области производства и применения облицовочных материалов и изделий является Италия, которая значительную часть мрамора экспортирует в разные страны. Разработки крупнейших месторождений белого «статуарного» мрамора Карраре имеют тысячелетнюю историю. На мировом рынке пользуются популярностью белый мрамор, кремовый, красный, зелёный и др. Месторождения редких сортов чёрных мраморов находятся в Бельгии и Франции. В России учтено 146 месторождений облицовочных камней с запасами по промышленным категориям 536 млн м3. Из них разрабатывается около 40 месторождений с годовым объемом добычи 500-600 тыс. м3. В остальных странах СНГ учтено около 300 месторождений с запасами около 900 млн м3. На 165 разрабатываемых месторождениях добывают 3,5 млн м3 облицовочных камней ежегодно.

***Задание 1***: ***составить каталог облицовочных камней с указанием генетических типов их месторождений.***

**Литература**

1 Ерёмин, Н.И. Неметаллические полезные ископаемые / Н.И. Ерёмин.– М.: МГУ, 1991. – 284 с.

2. Карякин, А.Е. Промышленные типы месторождений неметаллических полезных ископаемых / А.Е. Карякин [и др.]. – М.: Недра. 1985.

3. Татаринов, И.К. Курс месторождений твердых полезных ископаемых / И.К. Татаринов [и др.]. – Л.: Недра, 1975.

4. Романович, И.Ф. Месторождения неметаллических полезных ископаемых / И.Ф. Романович. – М.: Недра. – 1986.

5 Минеральное сырьё. Строительные камни и заполнители бетона. //Справочник - М. ЗАО «Геоинформмарк», 1998 – 22 с.

6 Минеральное сырьё. Камни облицовочные. //Справочник - М. ЗАО «Геоинформмарк», 1998 – 24 с.

**Практическая работа № 6 Железо и марганец**

***Краткие сведения***

***Железо*** является одним из наиболее широко распространенных элементов в земной коре. Его кларк равен 4,65 %. Повышенные концентрации (до двух кларков) наблюдаются в ультраосновных, основных и средних, а также метаморфических породах. В этих породах оно связано с пироксенами, оливином, амфиболом или биотитом. Известно четыре изотопа железа – *54Fe, 56Fe, 57Fe и 58Fe.* Оно обладает двумя устойчивыми валентностями; соединения *Fe2+* связаны преимущественно с эндогенными процессами, а *Fe3+* – с экзогенными.

Известно около 300 минералов, содержащих железо. Среди них много породообразующих. Промышленное значение имеет относительно небольшая группа минералов. *Магнетит Fe3O4* (содержание *Fe* 72,4 %). Минерал группы ферришпинелей. Образует изоморфный ряд с магнезиоферритом *MgFe2O4* и непрерывные ряды с другими шпинелидами. Кристаллизуется в кубической сингонии, кристаллы октаэдрические, реже ромбододекаэдрические и кубические. Характерны агрегаты зернистые, друзы, радиальнолучистые, почковидные, оолитовые, сажистые и др. Сильно магнитен. Черный, иногда с синеватой побежалостью. Черта черная. Блеск полуметаллический до металлического. Твердость 5,5–5,6, удельльная масса 4,8–5,3 г/см3. Магнетит с примесью *TiO2* называется *титаномагнетитом*, а с примесью *V2O5*– *кульсонитом*. *Гематит Fe2O3*(*Fe* 70 %) кристаллизуется в тригональной сингонии. Кристаллы пластинчатые, ромбоэдрические, редко призматические и скаленоэдрические. Агрегаты листоватые (*железная слюдка*, *железная роза*), чешуйчатые и жирные на ощупь (*железная сметана*), плотные, скрытокристаллические (*красный железняк*), натёчные, почковидные (*красная стеклянная голова*, *крововик*), землистые, оолитовые и др. Цвет минерала черный, стально-серый. Черта вишнево-красная, блеск полуметаллический, алмазный. Твердость 5–6, удельная масса 5,26 г/см3. *Мартит Fe2O3* (*Fe* 70 %) – псевдоморфозы гематита по магнетиту. Образуется на месторождениях латеритного выветривания и в железных шляпах. *Бурый железняк*: природные гидрооксиды железа – *гётит* (*FeO×OH*) и *гидрогётит* (*FeO*××*OH*×*nH2О*) в смеси с гидрооксидами кремнезема и глинистым веществом (*Fe* 48–63 %). *Сидерит FeCO3* (*Fe* 48,3 %). Существуют изомофные ряды *FeCO3 – MgCO3 и FeCO3 – MnCO3.* Разновидности марганецсодержащих минералов – *манганосидерит*, *олигонит*, магнийсодержащих минералов – *сидероплезит*, кальцийсодержащих – *сидеродот* и кобальтсодержащих – *кобальтолигонит* и *кобальтферосидерит*. Силикаты железа – *шамозит* и *тюрингит* (*Fe* 27 – 38 %).

***Марганец.*** Среднее содержание марганца в земной коре составляет   
0,1 %, т. е. кларк его в 40 раз меньше кларка железа. Повышенные концентрации этого элемента (до 1,5 кларка) наблюдаются в основных и ультраосновных породах. Из осадочных пород больше всего обогащены марганцем глинистые сланцы. Содержание его в морской воде очень малое (4⋅10-7 %). Марганец состоит из одного изотопа *55Mn*. Он обладает двумя устойчивыми валентностями: соединения *Mn2+ и Fe2+* замещают друг друга в эндогенных процессах, а *Mn4+ и Fe3+* в экзогенных процессах. Эндогенные обособления марганца не имеют промышленного значения. Под воздействием угольной кислоты и воды марганецсодержащие минералы разлагаются с образованием растворимого и довольно устойчивого соединения *Mn(HCO3)2*. Он также переносится в виде коллоидных растворов, оксидных соединений, взвеси тончайшего обломочного материала.

Общее число марганцевых минералов, встречающихся в природе, превышает 150. Однако широко распространенных и содержащих повышенное количество Mn минералов немного. *Пиролюзит MnO* (содержание *Mn* 55–63 %). Кристаллизуется в тетрагональной сингонии, габитус кристаллов призматический, игольчатый, изометрический, агрегаты зернистые, скрытокристаллические, волокнистые, радиальнолучистые, почковидные, конкреционные, сажистые и т. п., твердость 6–6,5, удельная масса 4,7–5,0 г/cм3. *Манганит Mn2O3×H2O* (*Mn* 50–62 %). Кристаллизуется в моноклинальной сингонии, габитус кристаллов призматический, агрегаты тонкокристаллические, оолитовые, натечные, зернистые и друзы. Цвет темно-серый до черного. Черта красновато-коричневая до черной, твердость 4, удельная масса 4,3 г/см3. *Браунит Mn2O*3 (*Mn* 60–69 %), *гаусманит Mn3O4* (*Mn* 65–72 %), *псиломелан MnO*×*MnO2*×*nH2O* (*Mn* 40–60 %), *родохрозит MnCO3* (*Mn* 40–45 %), *манганокальцит (Ca,Mn) CO3* (*Mn* 7–25 %), *манганосидерит (Mn,Fe)×CO3* (*Mn* 23–32 %), *родонит MnSiO*3 (*Mn* 32–36 %), *вернадит MnO2⋅nH2O* (*Mn* 40–45 %).

**Железорудные месторождения промышленного значения весьма разнообразны.** Среди них выделяются: 1) магматические, 2) карбонатитовые, 3) скарновые, 4) вулканогенные гидротермальные, 5) вулканогенно-осадочные, 6) кор выветривания, 7) осадочные и 8) метаморфогенные. Основные запасы железных руд в земной коре связаны с метаморфогенными и осадочными месторождениями.

*Магматические месторождения.* В группе собственно магматических месторождений железных руд выделяются два класса, связанные: 1) с кислыми изверженными породами и 2) с основными и ультраосновными породами.

Типичным представителем первого класса является месторождение *Кирунавара*, расположенное в Северной Швеции. Магматические месторождения, связанные с основными и ультраосновными породами, представляют собой зоны концентрированной вкрапленности с шлировыми и жило-линзовидными обособлениями титаномагнетита. Основным рудным минералом месторождений этого класса является титаномагнетит со структурой распада твердого раствора, представляющего собой магнетит, содержащий тонкопластинчатые вростки ильменита. В подчиненном количестве отмечаются зерна магнетита, ильменита и шпинели. Месторождения этого класса широко известны на Урале (Качканарское, Кусинское и др.), в Горном Алтае (Харловское), в США (Тегавус), ЮАР и других странах.

*Карбонатитовые месторождения.* С карбонатитовыми массивами нередко связаны железорудные месторождения. Они приурочены, как правило, к щелочно-ультраосновным интрузивам центрального типа. Характерны перовскит-титаномагнетитовые и апатит-магнетитовые руды. Такие месторождения известны в России на Балтийском щите (Ковдор, Африканда), Сибирской платформе (Гулинский массив), на Африканской платформе (Сукулу в Уганде, Дорова в Зимбабве, Люлекоп в ЮАР и др.).

Типичным примером может служить *Ковдорское месторождение.* Оно расположено в Кировском районе Мурманской области и приурочено к одноименному массиву ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов.

*Скарновые (контактово-метасоматические) месторождения* связаны с умеренно кислыми интрузивами (гранодиоритами, кварцевыми диоритами), контактирующими обычно с карбонатными толщами. Они широко распространены на Урале (Высокогорское, Гороблагодатское и др.), в Казахстане в Кустанайской области (Соколовское, Сарбайское, Качарское и др.), Горной Шории и Хакассии (Тейское, Тельбес, Таштагол, Абаканское и др.), США (Айрон-Спрингс, Адирондак), Марокко (Риф), Румынии (Банат) и других странах.

Месторождения представлены пластообразными залежами, линзами, гнездами сплошных руд и вкрапленностью магнетитов в скарнах. Состав скарнов разнообразен: встречаются гранатовые, гранат-эпидотовые, пироксен-гранатовые, актинолитовые и эпидот-хлоритовые. Содержание железа в рудах варьирует от 20 до 70 %. Нередко присутствует сера (до 3 %), связанная с вкрапленностью в рудах пирита и халькопирита.

*Вулканогенные гидротермальные месторождения* парагенетически тесно связаны с траппами. Они широко распространены на Сибирской платформе, где образуют ряд железорудных районов: Ангаро-Катский, Ангаро-Илимский, Среднеангарский, Канско-Тасеевский, Тунгусский, Бахтинский и Илимпейский. Месторождения залегают в палеозойских отложениях платформенного чехла. Область их распространения контролируется развитием интрузивных траппов, ниже которых в разрезе залегают галогенные отложения. С ними связывают образование хлоридов железа, которые мигрировали в вышележащие комплексы пород. Путями интенсивной миграции этих растворов являлись тектонические разрывы, а также, возможно и трубка взрывов. В результате их воздействия происходили метасоматические изменения пород и оруденение. Рудные тела жилообразной, линзообразной и часто неправильной формы. Наиболее богатые рудные зоны сложены как телами сплошных, так и брекчиево-вкрапленных и вкрапленных руд. Содержание железа в рудах варьирует от 25 до 60 %. Рудообразующий магнетит всегда содержит изоморфную примесь магния и относится к разности магномагнетита.

*Вулканогенно-осадочные месторождения* встречаются относительно редко. К ним относится Западный Караджал в Казахстане, Терсинская группа в Кузнецком Алатау, в Алжире Гара Джебилет и Мишери Абделазис, в Германии месторождения Лан и Дилль. Они пространственно связаны, как правило, с синклинальными зонами эвгеосинклинальных формаций. Рудные пласты обычно деформированы вместе с вмещающими их толщами. Руды сложены гематитом, магнетитом и сидеритом. В них встречаются сульфиды – пирит, халькопирит, арсенопирит, сфалерит, галенит, а среди нерудных (жильных) минералов – серицит, хлорит, кварц, опал, халцедон, доломит, анкерит, апатит и др. Промышленное значение месторождений этой группы невелико.

*Месторождения выветривания.* Они чаще всего представлены: 1) латеритами и 2) железными шляпами. *Месторождения железистых латеритов* образуются при выветривании массивов основных и ультраосновных пород в условиях влажного тропического климата. В этих обстановках происходит разложение силикатов, содержащих двухвалентное железо с образованием лимонитовых руд, обогащенных *Ni, Co, Cr, и Mr*, т. е. возникают природно-легированные руды. Крупнейшие месторождения, связанные с корой латеритного выветривания, находятся на Кубе. Латеритный покров мощностью от 5 до 30 м развит на площади 150 км2 и прослеживается с перерывами на несколько десятков километров. Руды сложены землистым элювием, содержащим гидрооксиды железа, гематит, остатки серпентинита с примесью зерен хромшпинелидов, силикатов никеля. Руды содержат (%): *Fe* 40–50, *Cr2O3* 1,5–1,8 (до 4), *Ni* 0,7–0,8 (до 2,5), *Mn* 0,5–3, *P* сотые доли, *S* до 0,2, *SiO2* 18–30 и *Al2O3* 10–12. Возраст месторождений третичный, общие запасы их 15 млрд т. Наиболее крупными являются месторождения Моа и Майари.

*Месторождения железных шляп* образуются при окислении сульфидных или сидеритовых руд. Руды чаще всего сложены гидрооксидами железа. Они имеют пористое, ячеистое, кавернозное или колломорфное строение. В рудах железных шляп сохраняются некоторые ценные элементы – *Au, Ag, Pb*, *Ni* и др.

*Осадочные месторождения.* Распространены весьма широко и имеют важное экономическое значение, занимая второе место среди других генетических типов железных руд. По условиям образования они разделяются на морские и континентальные.

*Осадочные морские месторождения* образуются в результате переноса железа речными подземными водами в виде тонких и грубых взвесей, коллоидных растворов и коагуляции их при встрече с солеными водами морских бассейнов. Рудоотложение часто происходит при трансгрессии моря, что способствует формированию руд с оолитовыми структурами. Среди них выделяются оксидные руды, состоящие из гидрооксидов железа, силикатные руды, представленные главным образом железистыми хлоритами, и карбонатные – существенно сидеритовые руды. Морские осадочные месторождения встречаются среди отложений различного возраста – от протерозойских (Нижнеангарское месторождение) до третичных включительно (Керченский железорудный бассейн, месторождения в Нигере и Бенине и др.). В рудах морских осадочных месторождений содержание *Fe* колеблется в пределах 20–50 %, чаще составляет 30–40 %.

Среди осадочных морских железорудных месторождений различают *геосинклинальные* и *платформенные.* Первые представлены сидеритовыми пластовыми месторождениями в морских терригенно-карбонатных отложениях (Бакальская группа месторождений Западного склона Южного Урала) и морскими гематитовыми месторождениями в терригенно-карбонатных отложениях (Нижнеангарское, Клинтон в США). Платформенные морские месторождения сложены сидерит-лептохлорит-гидрогематитовыми рудами (Аятский, Керченский, Западно-Сибирский, Лотарингский бассейны).

*Осадочные континентальные месторождения* представлены преимущественно бурожелезняковыми рудами озерного и болотного генезиса. Такие руды широко распространены на Восточно-Европейской платформе и известны в Тульской и Липецкой областях. Они характеризуются низким содержанием железа (до 30–40 %). Наиболее крупное месторождение этого типа – *Лисаковское* было открыто в 1960-х годах в Кустанайской области (Казахстан). Рудные залежи здесь вытянуты на десятки километров вдоль палеорусел рек. Содержание *Fe* в рудах 30–35 % и *P* около 0,5 %.

*Метаморфогенные месторождения* имеют исключительно важное экономическое значение. На их долю приходится основная масса мировых запасов и около 60 % мировой добычи железных руд. По запасам это, как правило, уникальные и крупные месторождения. Они известны на Канадском, Бразильском, Индийском, Южно-Африканском, Балтийском и Украинском щитах, а также на Китайской и Австралийской платформах, Курско-Воронежском массиве и в других провинциях, сложенными докембрийскими образованиями.

К этой серии относятся: 1) залежи железистых кварцитов и 2) богатых железных руд в древних метаморфических формациях. Железистые кварциты присущи только докембрийским складчатым областям. Они представляют собой сравнительно бедные руды с содержанием железа 20–40 % (чаще 32–37 %) и характеризуются крайне низкими концентрациями *P и S.* Все крупнейшие месторождения железистых кварцитов с запасами руды в миллиарды и десятки миллиардов тонн относятся к нижнепротерозойским эвгеосинклинальным образованиям, претерпевшим метаморфизм фации зеленых сланцев. Главными минералами железистых кварцитов этой формации являются кварц, магнетит, гематит, куммингтонит, биотит, хлорит, реже сидерит, пироксены и щелочные амфиболы. Более глубоко измененные месторождения амфиболитовой фации метаморфизма представлены менее крупными (сотни миллионов тонн) месторождениями.

С толщами железистых кварцитов связаны залежи *богатых железных руд.* Они представляют собой продукт природного обогащения железистых кварцитов, образующихся в результате выщелачивания кварца и разложения силикатов при процессах древнего выветривания или метаморфизма. Существуют два основных морфологических типа залежей богатых руд – плащеобразные и линейные. Первые залегают на головах крутопадающих пластов железистых кварцитов, вторые – представляют собой уходящие на глубину, протяженные по простиранию и значительной мощности клинообразные рудные тела богатых железных руд среди железистых кварцитов. Минеральный состав богатых руд: мартит и мартитизированный магнетит, гематит, гётит, гидрогётит, глинистые минералы, вторичные карбонаты и пирит. Руды имеют высокое содержание *Fe* (54–69 %).

Крупнейшими железорудными бассейнами этого типа являются в СНГ: Курская магнитная аномалия (Лебединское, Михайловское, Коробковское, Салтыковское и др. месторождения), Криворожский железорудный бассейн, в дальнем зарубежье – железорудный пояс Лабродора (Канада), группа месторождений в районе озера Верхнего (США), в штате Минас Жерайс (Бразилия), в штатах Бихар и Орисса (Индия), бассейн Хамерсли (Западная Австралия) и т. д.

***Месторождения и рудопроявления в Беларуси.*** Железные руды выявлены в породах кристаллического фундамента и осадочном чехле (болотные руды, сидерит). В кристаллическом фундаменте известны 2 месторождения и 10 рудопроявлений. Наиболее крупным месторождением является *Околовское*, расположенное в Столбцовском районе Минской области. Железистые кварциты связаны со стратифицированными образованиями околовской серии (возраст около 2 млрд лет). Они находятся в тесной парагенетической ассоциации с вмещающими плагиогнейсами и амфиболитами. Залегание железистой толщи осложнено тектоническими нарушениями субширотного, субмеридионального и северо-западного простирания. На месторождении выявлены три горизонта железистых кварцитов мощностью от 20–80 до 125–259 м, имеющих пластообразную форму, моноклинальное залегание с падением на юго-восток под углом 60–80°. В горизонтах выделяется до 5–6 рудных пластов. Развиты два основных типа руд: силикатно-магнетитовые кварциты и магнетитовые амфиболиты. Главный рудный минерал–магнетит, изредка встречаются пирит, пирротин, халькопирит, ильменит, а в слабо развитой зоне окисления – мартит, гематит и лимонит. Среднее содержание железа в продуктивных пластах 27 %. Руды хорошо обогащаются. По данным предварительной разведки запасы железных руд категории С1 до глубины 700 м составляют 340 млн т.

*Новоселковское месторождение* ильменит-магнетитовых руд находится в Кореличском районе Гродненской области. Оно контролируется небольшой (1,5×0,5 км) интрузией габбро, испытавшей метаморфизм в условиях амфиболитовой фации. Месторождение разбито тектоническими нарушениями (типа сбросов) северо-западного простирания на три блока с амплитудой смещения около 100 м. При бортовом содержании *Feобщ*. 15 % в каждом из них выделяется от трех до пяти рудных тел пластообразной, линзообразной формы мощностью от 4 до 128 м, протяженностью по простиранию от 110 до 411 м и по падению – от 110 до 640 м. Главными рудными минералами являются магнетит (до 60 %) и ильменит (до 30 %), второстепенными – пирит и пирротин. Среднее содержание основных компонентов в рудах колеблется в пределах (%): *Feобщ.* 23,5–35,7; *TiO2* 4,2–6,0; *V2O5* 0,15–0,24*; P2O5* 0,48–0,51; *S* 0,8–1,04.

***Промышленные месторождения марганцевых руд представлены***:   
1) осадочными, 2) вулканогенно-осадочными, 3) выветривания и   
4) метаморфогенными типами.

*Осадочные месторождения* имеют большое экономическое значение. В них сосредоточено около 80 % всех мировых запасов марганцевых руд. Наиболее крупные месторождения сформировались в прибрежно-морских и лагунных олигоценовых бассейнах, сосредоточенных в основном в пределах Паратетиса. Это Никопольский бассейн на Украине, Чиатурское месторождение в Грузии, Мангышлакское в Казахстане, Оброчиште в Болгарии и др.

*Железомарганцевые конкреции дна океанов.* Впервые они были обнаружены на дне Тихого океана экспедицией на судне «Челенджер» 120 лет назад. Мощность железо-марганцевых корок на базальтах и туфобрекчиях изменяется от нескольких миллиметров до 10–15 см. Размеры конкреций от 1 мм до 1 м в диаметре, чаще всего встречаются конкреции 3–7 см в поперечнике. Морфологические типы конкреций – сферические, лепешковидные, эллипсоидальные, плитчатые, желвакообразные, гроздьевидные. Япония и США, не имеющие крупных месторождений марганца, осуществляют добычу железо-марганцевых конкреций со дна Тихого и Атлантического океанов на глубинах до 5 км.

*Вулканогенно-осадочные месторождения* приурочены к областям интенсивного проявления подводного вулканизма, характеризующимися накоплением лав и туфов с подчиненным количеством осадочных пород и руд. Для них характерна тесная связь с кремнистыми (яшмы, туфы), карбонатными (известняки, доломиты) и железистыми (магнетит-гематитовыми) породами и рудами. Руды формировались на ранней стадии геосинклинального этапа в эвгеосинклинальных условиях. Поступление *Fe, Mn, SiO2, Cu, Zn, Ba, Pb* и других компонентов осуществлялось поствулканическими подводными эксгаляциями и гидротермами. Вулканогенно-осадочные месторождения обычно характеризуются невысоким качеством руд и имеют небольшие масштабы. Рудные тела залегают в виде неправильных, быстро выклинивающихся пластов, линз, чечевиц. Они сложены преимущественно карбонатами марганца и железа. Месторождения этой группы отличаются брунит-гаусманитовым составом первичных руд и псиломелан-вернадитовыми рудами в корах выветривания. Мощность рудных тел обычно 1–10 м, содержание в них основных компонентов (%): *Mn* 40–55; *SiO*2 менее 10; *P* 0,03–0,06.

К этому типу принадлежат месторождения Атасуйского и Джездинского районов Центрального Казахстана, а в России месторождения Примагнитогорской группы, Ир-Нилийское в Приохотье, связанные со спилит-кератофир-кремнистой формацией, а также месторождения Салаирского кряжа, приуроченные к пофирово-кремнистой формации.

*Месторождения выветривания.* В результате проявления процессов выветривания в зоне гипергенеза происходит интенсивное разложение марганцевых руд и марганецсодержащих пород с переходом двухвалентного марганца в четырехвалентную форму. Таким образом, формируются богатые скопления в виде марганцевых шляп. Месторождения данного генетического типа распространены в основном в Индии, Бразилии, Канаде, Венесуэле, Габоне, ЮАР, Австралии, а также России. При окислении родохрозита, манганокальцита, родонита и манганита образуются рыхлые богатые оксидные руды, состоящие из пиролюзита, псиломелана и вернадита.

*Метаморфогенные месторождения* образуются главным образом при региональном, реже при контактовом метаморфизме осадочных руд и марганецсодержащих пород. В процессе интенсивного регионального метаморфизма первичные оксиды и карбонаты марганца в дальнейшем целиком переходят в силикаты марганца – родонит, бустамит, марганцовистые гранаты в тесном срастании друг с другом. Примерами месторождений подобного типа могут служить Карсакпайская и Атасуйская группы месторождений Казахстана, а также некоторые месторождения Индии и Бразилии. Среди метаморфогенных месторождений по степени метаморфизма различают две формации: *браунит-гаусманитовую* и *марганец-силикатную*.

*Месторождения браунит-гаусманитовой формации* образуются в результате относительно слабого прогрессивного метаморфизма первичных руд, сложенных гидрооксидами и оксидами марганца. К этой группе относятся многочисленные месторождения Индии, приуроченные к отложениям нижнего и среднего палеозоя. Это пласты и линзы оксидных марганцевых руд, залегающих согласно со слабо метаморфизированными вмещающими породами. Нередко рудные залежи вместе с вмещающими породами дислоцированы. Главные рудные минералы: браунит, голландит, реже биксбит и манганит. Наиболее важное значение имеют месторождения Панч-Махал, Барода, Уква, Кеопджари и Сингбхуме.

*Месторождения марганец-силикатной формации* распространены в Индии и Бразилии. В Индии они связаны исключительно с образованиями архея – гондитами и кодуритами. Гондиты сложены спессартином, кварцем и родонитом, кондуриты состоят из калиевого полевого шпата, марганецсодержащего граната и апатита. Наиболее крупные месторождения находятся в штатах Андхра-Прадеш (месторождения Кудур, Тарбхар), Мадхья-Прадеш (Рамрара, Стапатар) и Махараштра (Бузург, Донгри и др.). Гондиты и кодуриты в настоящее время не отрабатываются.

***Задание 1 работа с контурной картой***

На контурной карте мира нанести крупнейшие железорудные бассейны, месторождения железных и марганцевых руд

***Задание 2 Составить таблицу «Генетические типы и эпохи железо- и марганценакопления»***

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Название полезного ископаемого | Генетический тип | Примеры месторождений | Местоположение месторождения | Эпоха рудообразования |
|  |  |  |  |  |

***Задание 3 Составить описание (презентацию) одного из крупнейших железорудных бассейна, железорудного и марганцевого месторождения.***

*Главные промышленные типы железорудных месторождений*: бассейны Курской магнитной аномалии (КМА, Россия) и Криворожский (Украина), район озера Верхнего (США и Канада), железорудная провинция Хамерсли (Австралия), район Минас-Жерайс (Бразилия). Лотарингский бассейн (Франция), Керченский бассейн, Лисаковское и др. Сарбайское, Соколовское, Качарское, гора Благодать, Магнитогорское, Таштагольское.

*Второстепенные промышленные типы железорудных месторождений: к*омплексные карбонатитовые апатит-магнетитовые месторождения. Ковдорское; железорудные магно-магнетитовые месторождения. Коршуновское, Рудногорское, Нерюндинское; железорудные сидеритовые месторождения. Бакальское, Россия; Зигерлянд, Германия и др.; железорудные и железомарганцевые оксидные пластовые месторождения в вулканогенно-осадочных толщах. Каражальское; железорудные пластообразные латеритные месторождения. Южный Урал; Куба и др.

**Литература**

1. Волъфсон Ф. И., Дружинин А. В. Главнейшие типы рудных месторождений.: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. – М.: Недра, 1982. - 383 с.

2. Курс рудных месторождений / В. И. Смирнов, А. И. Гинзбург, В. М. Григорьев, Г. Ф. Яковлев: Учеб. для вузов / Под ред. В. И. Смирнова. – М.: Недра, 1981. - 348 с.

3. Месторождения полезных ископаемых / В. А. Ермолов и др.: Учеб. для вузов. – М.: МГУ, 2001. – 571 с.

4. Варенцов И. М., Рахманов В. П. Месторождения марганца // Рудные месторождения СССР. В 3-х т. Т. 1. – М.: Недра, 1978. – С .112–171.

5. Григорьев В. М. Генетические особенности железорудных провинций мира. Смирновский сборник – 2002 (научно-литературный альманах). – М.: ВИНИТИ, 2002. – С. 95–112.

**Практическая работа № 7 Литий и бериллий**

***Краткие сведения***

*Геохимия и минералогия*. Кларк лития 2,9×10-3 %. Он содержится в 28 минералах. К промышленным относятся *сподумен LiАlSi2О6* (до 8 % *Li2О*) и *лепидолит* (силикат, 2–6 % *LiО2)*. Извлекается он также из *амблигонита* (фосфат, 6–9 % *Li2О*), *циннвальдита* (силикат, 3–4 % *Li2О*), петалита (силикат, до 4,5 % *Li2О*). Типы руд и кондиции. Главными рудами лития являются сподуменовые (около 80 % запасов); промышленное значение имеют также лепидолитовые руды. Важным источником лития служит рапа некоторых озер, морская вода, подземные минерализованные воды. Кондиционное содержание – около 1 % *Li2О* в руде и 0,05–0,1 % в рапе.

Литий благодаря низкой плотности (0,53 г/см3), большой теплоемкости, высокой реакционной способности и возможности легко образовывать сплавы с бериллием, магнием, алюминием, медью, свинцом применяется более чем в 150 областях, в том числе в атомной энергетике, производстве пластмасс, электротехнике (в щелочных аккумуляторах), керамической и химической промышленности, металлургии. Кроме того, литий может служить источником получения трития для термоядерных процессов.

*Бериллий.* Кларк бериллия в земной коре 3,8×10-4 %. Содержание его увеличивается от ультраосновных (2×10-5 %) к кислым (5×10-4 %) породам. В природе стабилен только один изотоп *9Ве*. При ядерных реакциях, происходящих под воздействием космических лучей, возникают изотопы *7Ве и 10Ве.*

Бериллий не имеет прямых геохимических аналогов среди породообразующих элементов. Основная масса бериллия в магматических породах связана с плагиоклазами. Однако наибольшие его концентрации характерны для некоторых темноцветных минералов и мусковита. В щелочных породах бериллий почти полностью рассеивается. При формировании кислых магматических пород он может накапливаться в постмагматических продуктах — пегматитах и пневматолито-гидротермальных телах. В кислых пегматитах образование значительных скоплений бериллия связано с процессами альбитизации и мусковитизации. В пегматитах бериллий образует собственные минералы, но частично находится также в изоморфной форме в породообразующих минералах — микроклине, альбите, кварце, слюдах и др.

В природе известно более 50 минералов бериллия, представленных силикатами, алюмосиликатами, фосфатами, оксидами и боратами. Промышленное значение имеют берилл, фенакит, бертрандит, гельбертрандит, хризоберилл, барилит, гентгельвин, гельвин и некоторые другие.

*Берилл* *Be3Al2[Si6O18]* (содержание *ВеО* 10-12 %). В нем содержится до 5–7 % Na, Li, К, реже Rb и Cs. Кристаллы призматические, цвет белый, зеленоватый, желтоватый, блеск стеклянный, твердость 7,5–8, плотность   
2,8 г/см3. Красиво окрашенная прозрачная зеленая разновидность (изумруд) — драгоценный камень.

*Фенакит* *Be2[SiO4]* (*ВеО* 45,5 %) кристаллизуется в тригональной сингонии, кристаллы ромбоэдрические, реже призматические, бесцветный, желтый, блеск стеклянный, твердость 7,5, плотность 3,0 г/см3.

*Бертрандит* *Be4[Si2O7](OH)2* (*ВеО* 40–42 %) (по фамилии Бертран) кристаллизуется в ромбической сингонии, габитус кристаллов пластинчатый, игольчатый, агрегаты радиально-лучистые и зернистые, блеск стеклянный, твердость 6, плотность 2,6 г/см3. Образуется за счет берилла в гранитных пегматитах, реже в кварцевых жилах, грейзенах и нефелин-пегматитах.

*Гельбертрандит* *Be4[Si2О7](OH)2-×nН20* (*ВеО* 34 %) образует неправильные стекловидные выделения, бледно-фиолетовый, твердость 4, плотность 2, 18 г/см3.

*Хризоберилл* *А12[ВеО4]* (*ВеО* 18–20%). Содержит примеси *Fe3+*, *Fe2+*, *Cr.* Минерал кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы таблитчатые, призматические, агрегаты зернистые, цвет зеленый различных оттенков, желтый, коричневый, красный, блеск стеклянный, твердость 8,5, плотность 3,75 г/см3.

*Барилит* *BaBe2[Si2О7]* (*ВеО* 16 %) кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы призматические, таблитчатые, цвет белый, блеск стеклянный, твердость 7, плотность 4,7 г/см3. Встречается в ассоциации с гедифаном и кальцитом.

**Генетические типы промышленных месторождений.**

***Промышленные месторождения лития*** – это пегматиты и минеральные воды. Пегматитовые литиевые месторождения представлены крутопадающими жилами сподумен-альбитового состава, пологими залежами, мощными линзообразными телами и штоками микроклинсподумен (петалит)-альбитовых руд. В них содержится около 50 % запасов и добывается более 70 % лития. Литиевые пегматиты находятся в США, Канаде, Испании, Афганистане, Зимбабве, КНР. В минеральных водах сконцентрировано более 50 % запасов лития. Выделяется несколько разновидностей литийсодержащих вод: 1) рапа высохших соляных и содовых озер (Серлс в США); 2) рассолы усыхающих озер, лагун, заливов и морей (Большое Соленое Озеро в США; Мертвое море; Салар-де-Атакама в Чили); 3) подземные рассолы (Клейтон-Велли в США); 4) подземные воды нефтяных и газовых месторождений.

Все ***месторождения бериллия*** относятся к эндогенным. Промышленное значение имеют пегматитовые, гидротермальные плутоногенные и вулканогенные, грейзеновые. Первое место (более 75 %) по запасам бериллия зарубежных странах занимают пегматитовые месторождения, на второе в последние годы вышли щелочные метасоматиты (около 12 %), на третьем и четвертом соответственно гидротермальные (6 %) и грейзеновые (5 %) месторождения. Однако по добыче распределение совершенно иное (%): гидротермальные – 70, пегматитовые – 17, грейзеновые – 13. Метасоматиты пока не разрабатываются.

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

*Гидротермальные плутоногенные месторождения* связаны с гипабиссальными мелкими интрузиями граносиенитов, кварцевых сиенитов и щелочных гранитов. Рудные тела приурочены к дорудным дайкам. Руды сложены флюоритом с фенакитоми бертрандитом и характеризуются высоким содержанием бериллия (0,5–1,5 % *ВеО*). Месторождения этого типа имеются в Мексике (Агуачили).

*Гидротермальные вулканогенные месторождения* размещены: в измененных липаритовых туфах и туфолавах. Руды образуют тонкие прожилки и вкрапленность в породах. Главные бериллиевые минералы – бертрандит и его водные разновидности – ассоциируют с халцедоном, опалом, флюоритом, кальцитом. Содержание *ВеО* до 0,5–0,7 %. Примером месторождений данного типа является Спер-Маунтин (США).

*Грейзеновые месторождения* представлены штокверками и жилами в верхних частях гранитных куполов. Помимо берилла руды содержат минералы тантала, ниобия, лития, олова, вольфрама. Содержание *ВеО* до 0,2–0,3 %. Месторождения бериллоносных грейзенов находятся в США, Австралии, КНР.

***Задание 1 Работа с контурной картой***

Нанести на контурную карту крупнейшие месторождения лития и бериллия.

***Задание 2 Подготовить презентацию по одной из тем:***

1 Исторические сведения о литии и бериллии.

2 Геохимия и металлогения лития.

3 Геохимия и металлогения бериллия.

4 Эпохи рудообразования лития.

5 Эпохи рудообразования бериллия.

6 Ресурсы, запасы, добыча и производство лития.

7 Ресурсы, запасы, добыча и производство бериллия.

8 Генетические типы промышленных месторождений лития.

9 Генетические типы промышленных месторождений бериллия.

10 Крупнейшие месторождения лития.

11 Крупнейшие месторождения бериллия.

**Литература**

|  |
| --- |
| 1 Авдонин, В.В. Геология полезных ископаемых: учебник / В.В. Авдонин, В.И. Старостин. – М.: Академия, 2010. – 384 с. |
| 2 Авдонин, В.С., Бойцов, В.Е. Месторождения металлических полезных ископаемых / В.С. Авдониндр [и др.] – М.: Геоинформмарк, 1998. – 348 с. |
| 3 Высоцкий, Э.А. Генезис месторождений полезных ископаемых: пособие для студентов, обучающихся по спец. 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» / Э. А. Высоцкий. – Минск: БГУ, 2012. – 147 с. |
| 4 Ермолов, В.А. Месторождения полезных ископаемых / под ред. В.А. Ермолова. – М.: МГУ, 2009. – 570 с. |
| 5 Полезные ископаемые Беларуси / под ред. П.З. Хомича. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 528 с. |
| 6 Старостин, В.И., Игнатов, П.А. Геология полезных ископаемых /  В.И. Старостин, П.А. Игнатов. – Москва: МГУ, 1997. – 304 с. |
| 7 Старостин, В.И., Игнатов, П.А. Геология полезных ископаемых /  В.И. Старостин, П.А. Игнатов. – Москва: Академический проект, 2004. – 512 с. |
| 8 Смирнов, В.М. Геология полезных ископаемых: учеб. пособие для вузов / В.М. Смирнов. – М.: Недра, 1989. – 268 с. |
| 9 Месторождения полезных ископаемых / В. А. Ермолов и др.: Учеб. для вузов. – М.: МГУ, 2001. – 571 с. |

**Практическая работа № 8 Свинец и цинк**

***Краткие сведения***

В природе *свинец и цинк* встречаются обычно в месте, образуя комплексные свинцово-цинковые полиметаллические руды. Кроме них в состав этих руд часто входят *Ag, Cd, Au* и другие металлы. Кларк *свинца в* земной коре 1,6⋅10-3 %. Содержание его увеличивается от ультраосновных (1⋅10-5 %) к кислым магматическим породам (2⋅10-3 %). Известно четыре стабильных изотопа свинца с массовыми числами 204 и 206–208, среди них преобладает 208Pb. Кларк *цинка* несколько выше, чем свинца и составляет 8,3⋅10-3 %. Наблюдается увеличение содержания его от ультраосновных к основным магматическим породам. Цинк типичный четный элемент из группы побочных, т. е. дающий ионы типа купро с сильной активной поляризацией. Цинк имеет пять стабильных изотопов с массовыми числами 64, 66–68 и 70, среди которых преобладает *64Zn.*

Главными минералами свинца являются *галенит, буланжерит, бурнонит, церуссит и англезит*, а главными минералами цинка – *сфалерит, вюртцит, смитсонит и каламин.*

*Галенит PbS* (содержание *Pb* 86,6 %), часто наблюдаются примеси *Ag, Cu, Zn*. Кристаллизуется в кубической сингонии, кристаллы кубические, кубооктаэдрические, октаэдрические, реже триоктаэдрические, скелетные. Образует зернистые агрегаты и друзы. Цвет минерала серый, в отраженном свете белый, твердость 2–3, удельная масса 7,6 г/см3.

*Буланжерит Pb5Sb4S11* (содержание *Pb* 55,4 %) (по фамилии Буланже), содержит обычно примеси *Cu и Fe*. Кристаллизуется в моноклинальной сингонии, кристаллы игольчатые или призматические. Встречается в виде агрегатов зернистых, волокнистых и перистых. Цвет синевато-свинцово-серый до черного, черта серо-черная с красноватым оттенком, блеск металлический, твердость 2,5–3, удельная масса 6,0–6,2 г/см3. Распространен в средне- и низкотемпературных гидротермальных месторождениях.

*Бурнонит CuPbSbS3* (*Pb* 42,5 %) (по фамилии Бурнон). Кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы короткопризматические, таблитчатые и псевдогексогональные; агрегаты зернистые. Цвет минерала стально-серый до темно-серого, черта темно-серая, блеск металлический, твердость 2,5–3, удельная масса 5,8 г/см3. Встречается в средне- и низкотемпературных гидротермальных свинцово-цинковых и сурьмяных месторождениях с сульфосолями цинка и свинца.

*Церуссит PbCO3* (*Pb* 77,6 %), примеси *Ag, Sr, Zn.* Кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы псевдогексагонально-дипирамидальные, таблитчатые и др. Характерны зернистые, порошковатые и волокнистые агрегаты. Цвет обычно белый, серый, реже черный, бурый, синий, блеск алмазный, твердость 3–3,5, удельная масса 6,4 г/см3.

*Англезит PbSO4* (содержание *Pb* 68,3 %). Назван по месту его находки на о. Энглези (Великобритания). Кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы от тонко- до толстотаблитчатых, призматические, агрегаты зернистые и желваковые, твердость 2,5–3, удельная масса 6,4 г/см3.

*Сфалерит ZnS* (*Zn* 67 %), примеси *Fe, Cd, Ir, Ga, Mn, Hg* и др. Кристаллизуется в кубической сингонии, габитус кристаллов: тетраэдрический, кубооктаэдрический, додекаэдрический. Характерны агрегаты зернистые, скорлуповатые, почковидные, колломорфные, землистые. Цвет минерала черный, бурый, красноватый, желтый, зеленый, бесцветный, блеск жирный, алмазный. Широко распространен в гидротермальных месторождениях различных типов, особенно в свинцово-цинковых, оловянных и колчеданных.

*Вюртцит ZnS* (*Zn* 63 %) (по фамилии Вюртц). Кристаллизуется в гексагональной и тригональной сингониях. Образует пять полиморфных модификаций с одинаковыми физическими свойствами. Кристаллы пирамидальные и таблитчатые, агрегаты: коломорфные, концентрически-лучистые, слоистые, волокнистые. Бесцветный, бурый до черного (в зависимости от содержания железа), блеск смолистый, стеклянный, твердость 3,5–4, удельная масса 3,9–4,0 г/см3.

*Смитсонит* ZnCO3 (Zn 52 %) (по фамилии Смитсон), изоморфные примеси *Fe, Mn, Mg, Co, Cu, Pb, Cd, In* и др. Кристаллизуется в тригональной сингонии, кристаллы скаленоэдрические, ромбоэдрические, агрегаты: зернистые, скорлуповатые, почковидные, землистые, ячеистые и др. Цвет минерала белый, зеленовато-серый, буроватый, блеск стекловатый, твердость 4–5, удельная масса 4,5 г/см3, вскипает с *HCl* на холоде.

*Каламин Zn[Si2O7](OH)2* (*Zn* 53,7 %), кристаллизуется в ромбической сингонии, габитус кристаллов таблитчатый, призматический. Характерны агрегаты: друзы, сталактиты, гроздьевидные, волокнистые, зернистые и иные. Цвет белый, голубоватый до бурого, блеск стеклянный, твердость 4,5–5,0 удельная масса 3,5 г/см3.

**Генетические типы промышленных месторождений.**

Основными типами промышленных месторождений свинца и цинка являются: 1) скарновые, 2) плутоногенные гидротермальные,   
3) вулканогенные гидротермальные, 4) стратиформные, 5) колчеданные,   
6) метаморфизованные.

*Скарновые месторождения* приурочены обычно к контактовой или экзоконтактовой зонам интрузивов и вмещающих осадочных или вулканогенно-осадочных толщ, содержащих пласты известняков. Оруденение, как правило, контролируется разрывами, межформационными срывами, зонами трещиноватости и брекчирования. Форма рудных тел пластообразная, линзовидная, жилообразная. Протяженность их многие сотни метров, мощность – десятки метров.

Скарновые месторождения свинца и цинка известны в России (месторождение Верхнее в Приморском крае), Казахстане (Кызыл-Эспе, Аскоран), Швеции (Аммаберг, Сала), США (Лоуренс, Франклин-Фернас), Мексике (Эль-Потоси), Китае (Тембушань) и других странах.

*Плутоногенные гидротермальные месторождения* имеют большое экономическое значение в мировой добыче свинца и цинка. Они разрабатываются во многих странах: в России (Екатерино-Благодатское, Кадаинское, Згид и др.), США (Тинтик, Кер д,Ален, Ледвилл), Канаде (Кен-Хилл), Болгарии (Руен, Говедарник), Чехии (Пшибрам) и др. Оруденение пространственно и парагенетически связано с интрузиями гранодиорит-порфиров или гранит-порфиров, а также с дайками диорит-порфиритов и диабазовых порфиритов. Главные рудные минералы: сфалерит, галенит, пирротин, арсенопирит, марказит, буланжерит, джемсонит; жильные – кварц, кальцит и доломит.

Среди месторождений этого типа выделяют две формации – *метасоматическую пирит-галенит-сфалеритовую в карбонатных породах* (Екатерино-Благодатское, Тинтик и др.) и *жильную галенит-сфалеритовую в гранитоидах и сланцах* (Згид, Садонское).

*Вулканогенные гидротермальные месторождения* свинца и цинка, как правило, содержат также серебро. Они известны в России (Новоширокинское в Забайкалье), Армении (Шаумян), Болгарии (Маджарово), Перу (Касапалка), Украине (Береговское, Беганьскае) и других странах. Оруденение приурочено к жерловым, экструзивным и субвулканическим фациям вулканитов. Месторождения пространственно связаны с вулканическими структурами, и в частности, с зонами дробления и трещинами-кольцевыми, радиальными и линейными. Рудные тела имеют жильную, линзовидную или штокверковую форму.

Главные рудные минералы: сфалерит, галенит, пирит и халькопирит; жильные – кварц, кальцит, реже барит и флюорит. Второстепенные рудные минералы: арсенопирит, блеклая руда, борнит, пираргирит, аргентит, буланжерит.

*Стратиформные месторождения* связаны обычно с мощными карбонатными толщами преимущественно палеозойского и мезозойского возраста. Для этих месторождений характерен четкий стратиграфический и литофациальный контроль, а также отсутствие в непосредственной близости магматических комплексов. Главные рудные минералы: сфалерит, галенит, пирит; жильные – кальцинит, доломит, реже барит. Месторождения этого типа широко распространены на Земле: Сардана (Республика Саха), Миргалимсай и Шалгия в Казахстане, Седмочисленицы (Болгария), Окульш и Болеслав (Польша), Бляйберг (Австрия), Малин, Трев и Ларжатьер (Франция), Эль-Абед (Алжир), Бу-Беккер (Марокко), Миссисипи-Миссури (США) и т. д.

*Колчеданные месторождения* известны в России (Холоднинское, Озерное в Забайкалье), Казахстане (Жайрем, Текели и др.), Германии (Раммельсберг), Испании (Рио-Тинто), Норвегии (Блейквассли), Турции (Эргани), США (Вест-Шаста), Канаде (Салливан). Крупные месторождения находятся в Рудном Алтае (Риддер-Сокольное, Лениногорское, Зыряновское и др.). Пространственно и генетически они связаны с кислыми производными базалтоидного вулканизма и приурочены к вулкано-купольным структурам, жерловым структурам, вулкано-тектоническим и межвулканическим декрессиям, зонам трещенноватости и разломам кольцевого и линейного типа. Руды по составу свинцово-цинковые, медно-свинцово-цинковые и свинцовые. Господствующим минералом является пирит, на долю которого приходится до 80–90 % от всей массы рудных минералов; главные минералы: сфалерит, галенит, иногда халькопирит; второстепенные – пирротин, арсенопирит, бурнонит, блеклые руды и марказит.

Среди колчеданных месторождений выделяются две рудные формации: 1) *халькопирит-галенит-сфалерит-пиритовая* в вулканогенных комплексах (Зыряновское, Риддер-Сокольное, Рио-Тинто, Шаканаи); 2) *галенит-сфалерит-пиритовая* в вулканогенно-терригенных и вулканогенно-карбонатных комплексах (Жайрем, Раммельсберг).

*Метаморфизованные месторождения* свинца и цинка выявлены в России (Горевское и Россохинское в Енисейском кряже, Таборное и Таежное в Прибайкалье), США (Юнайтед-Верде), Канаде (Флин-Флон), Индии (Мохна-Магра), Австралии (Брокен-Хилл, Маунт-Айза, Мак-Артур-Ривер). Они приурочены, как правило, к протерозойским и нижнепалеозойским кристаллическим и метаморфическим сланцам и мраморизованным известнякам, слагающим щиты или древние складчатые области. Рудные тела представлены пластовыми и пластообразными залежами большой протяженности (сотни метров – первые километры) при мощности их 10–100 м. Метаморфические изменения вмещающих пород проявились в их перекристаллизации и метаморфизме до эпидот-амфиболитовой, биотит-гранатовой, гранат-амфиболитовой и гранулитовой фаций. Среди метаморфизованных месторождений известны две рудные формации: 1) *пирротин-пирит-сфалерит-галенитовая* в метаморфизованных карбонатных породах (Горевское месторождение и др.); 2) *галенит-сфалерит-пирротин-пиритовая* в метаморфизованных осадочных силикатных породах (Брокен-Хилл, Россохинское и др.).

***Рудопроявления в Беларуси*.** Проявления свинца и цинка имеются в породах кристаллического фундамента. *Рубежевичское проявление* связано с колчеданно-полиметаллической формацией. В скв. № 38ж, вскрывшей метасоматически измененные породы в отдельных интервалах выявлена сульфидная минерализация. В интервале глубин 465–505 м сульфидная минерализация представлена вкрапленностью и прожилками сфалерита и галенита с примесью халькопирита, пирита, марказита и гематита. Среднее содержание *Zn* 8 %, максимальное – 10 %, *Cu* – 0,1 %. С сульфидно-полиметалличес-кой формацией связаны мелкие *рудопроявления Ельня и Ляцкое*, расположенные вблизи Щучинского глубинного разлома. Вмещающие породы подверглись гидротермальной проработке: хлоритизированы, биотизированы, окварцованы, скаполитизированы и содержат вкрапленность и тонкие прожилки сульфидов. Среди последних выделены: галенит, сфалерит, пирит, пирротин; редко встречаются халькопирит, арсенопирит, молибденит, марказит.

***Задание 1 Работа с контурной картой***

Нанести на контурную карту крупнейшие месторождения цинка и свинца.

***Задание 2 Подготовить презентацию по одной из тем:***

1 Исторические сведения о цинке и свинце.

2 Геохимия и металлогения цинка.

3 Геохимия и металлогения свинца.

4 Эпохи рудообразования цинка.

5 Эпохи рудообразования свинца.

6 Ресурсы, запасы, добыча и производство цинка.

7 Ресурсы, запасы, добыча и производство свинца.

8 Генетические типы промышленных месторождений цинка.

9 Генетические типы промышленных месторождений свинца.

10 Крупнейшие месторождения цинка.

11 Крупнейшие месторождения свинца.

**Литература**

1 Авдонин, В.В. Геология полезных ископаемых: учебник / В.В. Авдонин, В.И. Старостин. – М.: Академия, 2010. – 384 с.

2 Авдонин, В.С., Бойцов, В.Е. Месторождения металлических полезных ископаемых / В.С. Авдониндр [и др.] – М.: Геоинформмарк, 1998. – 348 с.

3 Высоцкий, Э.А. Генезис месторождений полезных ископаемых: пособие для студентов, обучающихся по спец. 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» / Э. А. Высоцкий. – Минск: БГУ, 2012. – 147 с.

4 Ермолов, В.А. Месторождения полезных ископаемых / под ред. В.А. Ермолова. – М.: МГУ, 2009. – 570 с.

5 Полезные ископаемые Беларуси / под ред. П.З. Хомича. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 528 с.

6 Старостин, В.И., Игнатов, П.А. Геология полезных ископаемых /

В.И. Старостин, П.А. Игнатов. – Москва: МГУ, 1997. – 304 с.

7 Старостин, В.И., Игнатов, П.А. Геология полезных ископаемых /

В.И. Старостин, П.А. Игнатов. – Москва: Академический проект, 2004. – 512 с.

8 Смирнов, В.М. Геология полезных ископаемых: учеб. пособие для вузов / В.М. Смирнов. – М.: Недра, 1989. – 268 с.

9 Месторождения полезных ископаемых / В. А. Ермолов и др.: Учеб. для вузов. – М.: МГУ, 2001. – 571 с.

**Практическая работа № 9 Олово, вольфрам и молибден**

***Краткие сведения***

***Олово*** – серебристо-белый металл, имеющий температуру плавления 231,9° С и высокую температуру кипения 2270° С, очень мягкий, ковкий, химически устойчив по отношению к воде, кислороду и органическим кислотам. Блестящее олово устойчиво лишь при температуре выше – 13,2° С. При более низких температурах оно переходит в свою темно-серую модификацию, при этом теряет металлические свойства и превращается в порошок. Этот процесс («оловянная чума») особенно интенсивно протекает при температуре – 33° С.

***Олово*** – достаточно распространенный в земной коре элемент, кларк его по А. П. Виноградову составляет 2,5⋅10-4 %. Повышенные концентрации характерны для кислых гранитов, грейзенов, пегматитов, для терригенных песчано-сланцевых пород. Основными минералами-концентраторами Sn служат акцессорный касситерит и биотит. Известно десять стабильных изотопов олова с массовыми числами 112, 114–120, 122 и 124, среди которых преобладают *116Sn, 118Sn и 120Sn.*

В природе известно около 20 минералов олова. Основное промышленное значение в составе оловянных руд имеют *касситерит, станнин, тиллит и франкеит.*

*Станнин* *Cu2FeSnS4* (содержание *Sn* 27,5 %) кристаллизуется в тетрагональной сингонии, агрегаты обычно зернистые, цвет оливково-серый, блеск металлический, твердость 3–4, удельная масса – 4,5 г/см3. Встречается гораздо реже касситерита, наблюдается в парагенезисе с галенитом, сфалеритом, халькопиритом, игольчатым касситеритом, различными сульфосолями. При выветривании за счет станнина после ряда промежуточных стадий образуется супергенный касситерит в виде порошковатых и землистых агрегатов.

*Тиллит PbSnS3* (*Sn* 30,4 %) кристаллизуется в ромбической сингонии, габитус кристаллов таблитчатый, агрегаты листоватые, цвет светло-серый, блеск металлический, твердость 2, удельная масса 6,4 г/см3. Встречается в серебро-оловянных и сульфидно-касситеритовых месторождениях малых глубин.

*Франкеит Pb5Sn3Sb2S14* (*Sn* 17 %) кристаллизуется в моноклинальной сингонии, кристаллы тонкотаблитчатые, агрегаты розетковидные и сферические. Цвет и черта серовато-черные, блеск металлический, твердость 1–2, удельная масса 5,9–6,0 г/см3. Встречается в гидротермальных свинцово-цинковых, оловянных и серебро-оловянных месторождениях малых и средних глубин.

***Вольфрам*** представляет собой металл серебристо-стального цвета, тугоплавкий, химически стойкий. При температуре 1600 ºС он ковок и способен вытягиваться в тончайшую нить. Кларк вольфрама 1,3×10-4 %, коэффициент его концентрации 5000. Величина кларка для различных магматических пород изменяется несущественно: несколько снижается в ультраосновных (1×10-5 %) и незначительно повышается в кислых (1,5×10-4 %) породах. Известно пять стабильных изотопов вольфрама: *180W, 182W, 183W, 184W, и 186W*. В природных условиях он встречается в 4- и 6-валентных соединениях.

Известно около 20 вольфрамовых минералов, но основное промышленное значение имеют *вольфрамит, гюбнерит, ферберит и шеелит*.

*Вольфрамит (Mn, Fe)WO4* (содержание *WO3* – 76,5 %) кристаллизуется в моноклинальной сингонии, кристаллы от коротко- до длиннопризматических и игольчатых, таблитчатые, изометричные.

*Гюбнерит MnWO4* (*WO3* – 76,6 %) (по фамилии немецкого горного инженера А. Гюбнера). Минерал представляет крайний марганцевый член изоморфного ряда вольфрамита.

*Ферберит FeWO4* (*WO3* – 76,3 %) (по фамилии естествоиспытателя Р. Фербера), крайний член изоморфного ряда вольфрамита.

*Шеелит СaWO4* (*WO3* 80,6 %) (по фамилии шведского химика К. Шееле) кристаллизуется в тетрагональной сингонии, кристаллы пирамидальные, почти изометричные, редко таблитчатые, агрегаты зернистые, цвет белый, бледно-желтый до коричневатого, блеск стеклянный до алмазного, твердость 4,5–5, удельная масса 6,1 г/см3. В катодных лучах минерал люминесцирует ярким голубовато-белым светом.

В зоне окисления образуются: *тунгстит* *H2WO4*, *гидротунгстит* *H2WO4×H2O*, *ферритунгстит* *Fe2O3×WO3×6H2O* и некоторые другие вольфрамсодержащие минералы. Они встречаются обычно в виде землистых масс желто-бурого, светло-желтого, реже желтовато-зеленого цвета. Эти минералы являются лишь поисковым признаком наличия первичных вольфрамовых руд.

***Молибден*** – серебристо-белый металл, очень похожий по своим свойствам на вольфрам. Он тугоплавок (температура кипения 2620 ºС), прочен, ковок, тягуч. Кларк молибдена 1,1×10-4 %. В земной коре молибден распределен относительно равномерно. Меньше всего его содержится в ультраосновных породах (0,4–0,5 г/т), больше в гранитах (1–1,5 г/т). Содержание молибдена в морской воде колеблется от 8,9 до 12,2 мг/л. Наиболее высокие концентрации его в породах связаны с акцессорными минералами (магнетит, ильменит, сфен). Известно семь стабильных изотопов молибдена с массовыми числами 92, 94–98, 100, среди которых преобладает *98Mo.* Этот металл обладает двумя валентностями: 4-х валентный в эндогенных условиях и 6-валентный в экзогенных.

В эндогенных условиях молибден переносится в виде комплексных соединений – *гетерополикремниевых кислот* типа *SiO2×12MoO3×nNa2O×H2O.* При понижении температуры и давления этот комплекс разрушается, а при наличии сероводорода происходит диссоциация последнего с образованием молибденита. В первичных рудах молибденит встречается в ассоциации с вольфрамитом и висмутином, с минералами меди, а также с галенитом, сфалеритом. В экзогенных условиях молибденит окисляется с образованием легкорастворимых соединений типа *MoSiO2 и H2MoO4.*

В природе известно около 20 молибденовых минералов. Главнейшими из них являются: *молибденит, повеллит, молибдошеелит, вульфенит, ферримолибдит и ильземаннит.*

*Молибденит* *MoS2* (содержание *Mo* – 60 %) – это основной промышленный минерал молибденовых руд. В нем почти всегда в виде изоморфной примеси присутствует рений (до 0,3 %). Молибденит кристаллизуется в гексагональной сингонии, габитус кристаллов таблитчатый, короткопризматический, бочковидный, цвет голубовато-серый, блеск металлический. Встречается в высоко- и среднетемпературных гидротермальных месторождениях, связанных с кислыми изверженными горными породами, а также в пегматитах и грейзенах в ассоциации с вольфрамитом, касситеритом.

*Повеллит* *CaMoO4* (*Mo* – 48 %) (по фамилии Повелл), кристаллизуется в тетрагональной сингонии, габитус кристаллов дипирамидальный, таблитчатый, цвет зеленовато-желтый, блеск алмазный, твердость 3,5, удельная масса 4,5 г/см3.

*Молибдошеелит Ca(W,Mo)O4* (*Mo* – 0,5–15 %), молибденсодержащий шеелит. Цвет его золотисто-желтый, удельная масса 5,5–5,9 г/см3. Под воздействием рентгеновских, ультрафиолетовых и катодных лучей люминисцирует в белых и желтовато-белых тонах. Встречается в известковых скарнах с молибденитом, в пегматитах – с флогопитом, диопсидом, сфеном.

*Вульфенит PbMoO4* (*Mo* – 46 %) (по фамилии Вульфен), кристаллизуется в тетрагональной сингонии, кристаллы – квадратные таблички, иногда октаэдрические, реже призматические и кубообразные, цвет желтовато-серый, зеленый до бурого, твердость 2,5–3, удельная масса   
6,9 г/см3.

*Ферримолибдит Fe2O3×2MoO3×7H2O* (*Mo* – 60 %) кристаллизуется в ромбической сингонии, образует корочки пучковатые или радиальноволокнистые агрегаты, цвет желтый, блеск шелковистый, твердость 1–2, удельная масса 4,5 г/см3.

*Ильземаннит Mo3O8×nH2O* (*Mo* до 30 %) (по фамилии Ильземанн). Обратимый минеральный гель, встречается в виде землистых агрегатов, пигмент пород и минералов, цвет голубой до черного, растворим в воде и кислотах.

**Генетические типы промышленных месторождений**

***Среди промышленных месторождений олова известны:***   
1) пегматитовые, 2) скарновые, 3) грейзеновые, 4) плутоногенные гидротермальные, 5) вулканогенные гидротермальные, 6) россыпные.

*Пегматитовые месторождения*. Это, как правило, высокотемпературные образования, генетически связанные с интрузивами порфировидных гранитов с повышенной глиноземистостью и с преобладанием натрия над калием. В пределах интрузивных массивов тела оловоносных пегматитов представлены линзами, трубообразными залежами и шлировыми образованиями. Размеры рудных тел небольшие, но в отдельных случаях могут достигать сотен метров по простиранию и десятки метров по мощности. Главным рудным минералом является касситерит, который распределен в рудных телах весьма неравномерно и приурочен к зонам альбитизации и грейзенизации. Руды комплексные: касситерит ассоциирует с мусковитом, топазом, турмалином, флюоритом, кварцем, колумбитом, вольфрамитом и др. Месторождения этого типа отличаются низким средним содержанием Sn (не выше 0,1–0,2 %) и в целом их роль в добыче олова невелика. Пегматитовые месторождения олова известны в России (Забайкалье), в Центральной Африке, США (Сильвер-Хилл), Канаде (Берд-Ривер).

*Скарновые месторождения* олова выявлены в России в Забайкалье (Ярославское) и в Карелии (Кителя, Питкяранта), а также в Китае (Лаочан), Малайзии (Беатрис), Индонезии (Кампит, Клаппа), Мексике. Оруденение приурочено, как правило, к известковым скарнам. Рудные тела образуют круто- и пологозалегающие залежи на контакте гранитоидов и известняков, трубы на пересечении разрывов, их сопряжениях и искривлениях. Олово заключено в основном в касситерите, который находится в тесной парагенетической ассоциации с другими рудными минералами – магнетитом и различными сульфидами (арсенопирит, пирротин и др.).

Среди касситерит-скарновых месторождений выделяются магнетитовые и сульфидные. Первые характеризуются резким преобладанием среди рудных минералов магнетита. В касситерит-скарновых сульфидных месторождениях широко развиты пирротин, сфалерит, халькопирит, станнин, борнит, кубанит, а также разнообразные бораты, в том числе данбурит, датолит и др.

*Грейзеновые месторождения* олова широко распространены в России – на Чукотке (месторождение Экуг), в Забайкалье (Этыка), Приморье (Чапаевское), Республике Саха (Кестер, Бутыгычаг), Германии (Альтенберг), США (Лост-Ривер), Китае (Лиму) и других странах. Они связаны с аляскитовыми гранитными интрузиями гипабиссальной фации. Возраст их – от архейского до альпийского включительно. Рудные тела представлены жилами, штокверками, трубами. Главные рудные минералы: касситерит, вольфрамит, арсенопирит, циннвальдит; нерудные – кварц, альбит, ортоклаз, мусковит, топаз, флюорит, турмалин.

*Плутоногенные гидротермальные месторождения*. Этот генетический тип среди месторождений олова имеет достаточно широкое распространение. Они известны в России – на Чукотке (Валькумей), в Приморье (Хрустальное), Забайкалье (Хапчеранга, Шерлова Гора), Республике Саха (Эге-Хая, Депутатское), а также в Великобритании (Крофти, Долкоатс), Австралии (Маунт-Бишоф), Канаде (Маунт-Плезант) и других странах. Месторождения связаны в основном с малыми интрузиями гранитоидов повышенной основности, реже с плутонами нормальных гранитоидов. Рудные тела представлены жилами и штокверками. Главными рудными минералами являются касситерит и пирротин.

С.С. Смирнов среди плутоногенных гидротермальных месторождений выделил две рудные формации – *касситерит-силикатно-сульфидную* (Валькумей, Депутатское, Хрустальное, Хапчеранга, Крофти, Долкоатс, Маунт-Плезант) и *касситерит-сульфидную* (Дальнее, Смирновское в Приморье, Ренисон-Белл в Австралии, Менсон-Лод в Малайзии).

*Вулканогенные гидротермальные месторождения известны* в России на Малом Хингане (Хинганское, Джалинда), Боливии (Ллалагуа, Оруро, Потоси), Мексике (Дуранга, Эль Сантин), Японии (Акенабе). Месторождения этого типа связаны с богатыми калием кислыми риолитами и умеренно-кислыми образованиями андезит-риолитовой формации (дациты и др.). Располагаются они среди вулканических образований и находятся в тесной ассоциации с субвулканическими, жерловыми, экструзивными, реже эффузивными фациями.

Рудные тела представлены ветвящимися жилами, реже штокверками. Мощность рудных жил изменяется от 0,1 до 2–3 м (чаще составляет около   
1 м). Они прослеживаются по простиранию на десятки и сотни метров, а на глубину до 700–800 м. Руды оловянные, часто комплексные (*Sn–Ag; Sn–Pb–Zn*). Минеральный состав их сложный. Главные рудные минералы: касситерит, станнин, висмутин, арсенопирит, пирротин; нерудные (жильные) – кварц, турмалин, серицит.

*Россыпные месторождения* имеют важное экономическое значение. Они широко распространены в Малайзии, Индонезии, Таиланде, Китае, а также в России – на Чукотке (Пыркыкай), в Приморье (Воскресенское), Республике Саха (Депутатское). Оловоносные россыпи возникают за счет разрушения коренных месторождений – касситерит-пегматитовых, кварц-касситеритовых, оловоносных грейзенов, оловоносных скарнов и др.

Наиболее крупные месторождения россыпного олова находятся на Малайском архипелаге (Малайзия, Индонезия). В Малайзии известно около 500 приисков и рудников. Наиболее важные из них Перак, Селангор, Сембилан, Негрри и др. Основные месторождения сосредоточены в долине   
р. Кинта. Здесь разрабатываются преимущественно аллювиальные россыпи. Плотик россыпных месторождений сложен известняками, кристаллическими сланцами, перекрытых мощным латеритным покровом. Касситерит вначале накапливался в результате разрушения оловоносных грейзенов и кварц-касситеритовых жил в элювии, а затем сносился в долину. В других районах Малайзии плотиком является гранит.

В Индонезии месторождения сосредоточены преимущественно на трех островах – Банка, Биллитон и Сингкип. Главным районом добычи касситерита являются россыпи о. Банка. Здесь в результате выветривания послетриасовых гранитов, содержащих оловоносные штокверки, образовались остаточные элювиальные россыпи. Часть этих россыпей была смыта в прилегающие долины и перекрыта аллювиальными песчаными наносами. Происшедшее в четвертичный период погружение местности привело к затоплению нижних участков речных долин, которые вместе с подстилающим плотиком погрузились на глубину до 30 м ниже современного уровня моря. Затопленные россыпи в настоящее время разрабатываются морскими драгами.

**Генетические типы промышленных вольфрамовых месторождений**: 1) скарновые (контактово-метасоматичес-кие), 2) грейзеновые, 3) плутоногенные гидротермальные, 4) вулканогенные гидротермальные, 5) россыпные, 6) отложения горячих минеральных источников, 7) рассолы.

*Скарновые месторождения*. Они приурочены к гранат-пироксеновым и другим скарнам. По условиям залегания рудоносных вольфрамсодержащих скарнов выделяются: 1) месторождения, образовавшиеся на контакте гранитоидов и известняков; 2) возникшие на контакте любых силикатных пород (сланцев, роговиков, порфиритов и др.) с карбонатами;   
3) месторождения, расположенные в гранитоидах.

Главные рудные минералы: шеелит, иногда молибденит; второстепенные – касситерит, висмутин, магнетит, пирротин, пирит, арсенопирит, вольфрамит и др. Процесс минералообразования длительный и многостадийный (5–6 стадий). Месторождения этого типа известны в России (Тырныаузское, Восток-II), США (Пайн-Крик), Австралии (Кинг-Айленд), Китае (Хуанподи, Шичжийюань и др.), Южной Корее (Санг-Донг). Среди этих месторождений выделяются две главные рудные формации: *шеелитовая* (Восток-II, Санг-Донг) и *шеелит-молибденовая* (Тырныаузское).

*Грейзеновые месторождения* формировались в орогенных зонах геосинклиналей и в областях активизации древней складчатости платформ на глубинах от 5 до 7 км от земной поверхности при диапазоне оруденения 300–500 м. Они приурочены обычно к апикальным куполовидным зонам лейкократовых, реже пегматоитдных гранитов. Главные рудные минералы: вольфрамит, молибденит, касситерит; второстепенные – магнетит, висмутин, пирротин, пирит, халькопирит, галенит и сфалерит. Месторождения этого типа известны в России (главным образом в Забайкалье – Спокойнинское, Букукинское), Казахстане (Акчатау, Караоба), Китае (месторождения олово-вольфрамового района массива Цзянси), Германии (Пехтельгрюн, Садисдорф), Монголии (Баянмонд, Югодзыр), Австралии (Вольфрам-Кемп, Террангтон) и других странах.

*Плутоногенные гидротермальные месторождения,* как правило, ассоциируются с куполами гранитных массивов и штоками гранит-порфиров. Они размещаются в основном в экзоконтактовой зоне, сложенной роговиками. Главные рудные минералы: вольфрамит, гюбнерит, иногда шеелит; второстепенные – касситерит, молибденит, висмутин и др. Глубины формирования плутоногенных гидротермальных вольфрамовых месторождений 1–5 км.

Выделяются следующие рудные формации: 1) *кварц-вольфрамитовая* (месторождение Антоновское в Забайкалье); 2) *кварц-гюбнеритовая* (Бом-Горн в Забайкалье); 3) *кварц-шеелитовая* (Богуты в Казахстане); 4) *кварц-касситерит-вольфрамитовая* (Панаскуейра в Португалии, Иультин на Чукотке); 5) *кварц-сульфидно-вольфрамит-гюбнеритовая* (Холстон, Инкур в Забайкалье).

*Вулканогенные гидротермальные месторождения* распространены в областях современного и молодого вулканизма. Оруденение связано с андезит-дацит-липаритовыми формациями, а также вулканитами, обладающими повышенной щелочностью. Месторождения, как правило, приурочены к образованиям экструзивной, жерловой и субвулканической фаций. Рудовмещающими структурами являются вулканические купола, некки синвулканические зоны дробления и трещиноватости. Выделяются три рудные формации: 1) (*киноварь*)-*антимонит*-*шеелит*-*ферберитовая* (месторождение Горная Рача и Зопхито в Закавказье); 2) *серебро*-*золото*-*шеелитовая* (Боулдер в США); 3) *псиломелан*-*тунгомелановая* (Голконда в США).

*Россыпные месторождения* известны в России (Шерлова Гора в Забайкалье, Омчикандин в Республике Саха), Казахстане (Караоба, Богуты), США (Анатолия в штате Калифорния), Индонезии, Таиланде, Китае и в других странах. Они тесно связаны с коренными породами и образуются главным образом за счет разрушения грейзеновых и особенно плутоногенных гидротермальных месторождений. Наиболее широко развиты касситерит-вольфрамитовые и вольфрамитовые россыпи, реже шеелитовые и гюбнеритовые. Среди них распространены преимущественно элювиальные и аллювиальные россыпи.

*Элювиальные россыпи* образуются в результате физического выветривания коренных вольфрамовых месторождений и состоят из обломков вольфрамитовой руды (кварц с вольфрамитом и шеелитом) среди разрушенных вмещающих пород. Они известны в Боливии, Китае и Мьянме. Элювиальные рассыпи до Великой Отечественной Войны отрабатывались на месторождении Караоба в Казахстане. Среди *аллювиальных россыпей* вольфрама преобладают россыпи современных долин. Русловые и особенно косовые россыпи, а также террасовые встречаются реже и практического значения не имеют. Вольфрамит, который нередко накапливается совместно с касситеритом, концентрируется в нижних частях рыхлых отложений. Длина россыпей достигает 5–8 км при ширине 100–200 м, мощность рудного пласта 1–2 м. Содержание вольфрамита и шеелита в разрабатываемых россыпях колеблется от сотен граммов до нескольких килограммов на 1 м3 песка. Относительно крупными запасами обладают аллювиальные россыпи месторождения Атолия в Калифорнии.

*Отложения горячих минеральных источников.* Месторождения этого типа имеются в США, Боливии и Монголии. Наиболее крупные из них (Голконда и Содавилль) расположены в штате Невада. Они представлены пластообразными залежами псиломелана с лимонитом, обогащенными вольфрамом. В составе псиломелана, наблюдаются повышенные количества *K, Ba и WO3* (от 1 до 7 %). Пластообразное тело вольфрамсодержащей марганцевой руды вместе с подстилающими и перекрывающими известковистыми туфами в виде покрова залегают несогласно на породах триаса (глинистые сланцы, песчаники, известняки и кварциты). Руды приурочены к нижним горизонтам толщи туфов. В плане рудное тело имеет серповидную форму. Мощность рудного пласта колеблется от 0,1 до 6,0 м. Предполагается, что вольфрам осаждался в псиломелан-лимонитовых образованиях из горячих источников, выщелачивавших его из расположенных поблизости жильных вольфрамовых месторождений.

*Рассолы.* В рассолах соляного пласта оз. Сёрлс, расположенного в пустыне Мохаве (штат Калифорния), установлено относительно высокое содержание *WO3*. Площадь распространения соляного пласта составляет около 90 км2, мощность его варьирует от нескольких сантиметров до 35 м. Запасы *WO3* в рассолах оцениваются в 80 тыс. т.

***Рудопроявления в Беларуси*.** В кристаллическом фундаменте наиболее благоприятны для вольфрамовой минерализации являются зоны скарнированных гнейсов. К настояшему времени выявлено лишь 1 рудопроявление – *Раевщинское*, локализованное в пределах Минского глубинного разлома в западном экзоконтакте Бобовнянского гранитогнейсового купола. Здесь среди интенсивно гранитизированных плагиогнейсов установлены 2 горизонта скарноидов с вкрапленностью шеелита и содержанием вольфрама до 0,007 %.

Более мелкие проявления минерализации этого типа известны на участке *Мир* в экзоконтакте гранитоидов жуховицкого комплекса, а также на юге Беларуси в экзоконтакте гранитоидов микашевичского комплекса (участок Глушковичи).

**Промышленные месторождения молибдена:** *1) скарновые, 2) грейзеновые, 3) плутоногенные гидротермальные, 4) вулканогенные гидротермальные.*

*Скарновые месторождения*. К этой группе относятся скарново-молибденит-шеелитовые и скарново-шеелитовые месторождения, образующиеся на контактах гранитоидов с карбонатными породами. Основная масса молибденита выделялась после образования скарновых минералов и шеелита в виде секущих скарны молибденитовых либо кварц-молибденитовых прожилков.

Главные рудные минералы: молибденит, пирит, шеелит (иногда молибдошеелит), халькопирит и магнетит; второстепенные – сфалерит, галенит и др. Месторождения этого типа известны в России (Тырныаузское, Киялых-Узень в Хакассии), Казахстане (Каратас-I), Марокко (Азгур), Румынии (Байтца), Китае (Янцзы-Чжандзы), США (Пайн-Крик), Турции (Тахталыдаг).

*Грейзеновые месторождения* достаточно широко распространены в Казахстане (Восточный Коунрад, Акчатау, Жанет и др.), России (Первомайское и Булуктай в Забайкалье), Монголии (Югодзыр), Аргентине (Серро-Асперо) и других странах. Собственно грейзены состоят из слюды (мусковит, биотит) и кварца, а также плагиоклаза, турмалина, топаза и флюорита. Главные рудные минералы: молибденит, вольфрамит; второстепенные – касситерит, висмутин, магнетит, пирит, халькопирит, сфалерит и галенит.

*Плутоногенные гидротермальные месторождения* весьма широко распространены и имеют большое экономическое значение. Среди них выделяются три основные рудные формации: 1) *кварц-молибденитовая*,   
2) *кварц-молибденит-серицитовая*, 3) *кварц-молибденит-халькопирит-серицитовая.*

*Месторождения кварц-молибденитовой формации* самые многочисленные. К ним относятся месторождения в Забайкалье (Шахтама, Давенда, Жирекен), на Дальнем Востоке (Умальта), в Казахстане (Шалгия), Канаде (Босс-Маунтин), США (Квеста-I, Квеста-II и др.). Они тяготеют к ореолам развития биотит-мусковитовых гранитов. Главные рудные минералы: молибденит и вольфрамит; второстепенные – касситерит, шеелит, пирит, арсенопирит, пирротин, халькопирит, галенит, сфалерит; жильные – кварц, калиевый полевой шпат, плагиоклаз, мусковит и др.

*Месторождения кварц-молибденит-серицитовой и кварц-молибденит-халькопирит-серицитовой формаций* представлены, как правило, молибденовыми, часто медно-молибденовыми прожилково-вкрапленными рудами. В Армении – это месторождение Каджаран, в России – Сора, в США – Клаймакс, Гендерсон и др. Они связаны с порфировыми интрузиями диорит-гранодиорит-гранитовых комплексов. Находятся в эндоконтактовых зонах интрузивов. Главные рудные минералы первичных руд: молибденит, халькопирит и пирит; второстепенные – магнетит, гематит, борнит, блеклые руды, галенит и сфалерит. Содержание молибдена в рудах молибденпорфировых месторождений составляет 0,05–0,5 %, а в медно-молибденпорфировых – 0,005–0,025 %.

*Вулканогенные гидротермальные месторождения* представлены уранинит-молибденитовой формацией. Они обычно приурочены к участкам пересечения разломов различного направления, секущих туфогенно-осадочные породы и эффузивы типа кварцевых порфиров.

***Рудопроявления в Беларуси*.** Проявления молибдена связаны с медно-молибденовой сульфидно-скарновой (Шнипки) и медно-молибденовой сульфидной (Скидельское) формациями. *Рудопроявление Шнипки* находится в Щучинском районе Гродненской области. Кристаллический фундамент здесь сложен катаклазированными и милонитизированными породами заборской толщи щучинской серии. Встречены маломощные участки сульфидной и магнетитовой минерализации, приуроченные к крутопадающим тектоническим зонам. Оруденение представлено обильной вкрапленностью и прожилками сульфидов. В скв. № 5п в интервале 233,6–239,4 м вскрыта карбонат-кварц-сульфидная жила, рудные минералы в которой представлены пиритом, марказитом, халькопиритом, пирротином, магнетитом и молибденитом.

*Рудопроявление Скидельское* локализовано в Западно-Белорусской металлогенической зоне, выделяемой в западном обрамлении гранулитового пояса. Вмещающими породами являются эпидотизированные и хлоритизированные гранитогнейсы, гранитоиды и полевошпатовые жилы. Минерализация представлена вкрапленностью и прожилками сульфидов, среди которых установлены халькопирит, молибденит, борнит и пирит. Мощность минерализованных интервалов не превышает 0,5 м. В качестве элементов-примесей отмечены *Co, Ni, Pb, Zn, Sn, Ag и Au*. В последнее время проявления молибдена выявлены при отработке пород кристаллического фундамента месторождения Микашевичи. Здесь молибденит связан с жилами мелкокристаллического розовато-серого гранита. Этот минерал встречается в виде включений размером до 0,5×1,5 см, а также образует небольшие гнезда.

***Задание 1 Работа с контурной картой***

Нанести на контурную карту крупнейшие месторождения олова, молибдена и вольфрама.

***Задание 2 Подготовить презентацию по одной из тем:***

1 Исторические сведения о олове, вольфраме и молибдене.

2 Геохимия и металлогения олова.

3 Геохимия и металлогения вольфрама.

4 Геохимия и металлогения молибдена.

5 Эпохи рудообразования олова.

6 Эпохи рудообразования молибдена.

7 Эпохи рудообразования вольфрама.

8 Ресурсы, запасы, добыча и производство олова.

9 Ресурсы, запасы, добыча и производство молибдена.

10 Ресурсы, запасы, добыча и производство вольфрама.

11 Генетические типы промышленных месторождений олова.

12 Генетические типы промышленных месторождений молибдена.

13 Генетические типы промышленных месторождений вольфрама.

14 Крупнейшие месторождения олова.

15 Крупнейшие месторождения молибдена.

16 Крупнейшие месторождения вольфрама.

**Литература**

|  |
| --- |
| 1 Авдонин, В.В. Геология полезных ископаемых: учебник / В.В. Авдонин, В.И. Старостин. – М.: Академия, 2010. – 384 с. |
| 2 Авдонин, В.С., Бойцов, В.Е. Месторождения металлических полезных ископаемых / В.С. Авдониндр [и др.] – М.: Геоинформмарк, 1998. – 348 с. |
| 3 Высоцкий, Э.А. Генезис месторождений полезных ископаемых: пособие для студентов, обучающихся по спец. 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» / Э. А. Высоцкий. – Минск: БГУ, 2012. – 147 с. |
| 4 Ермолов, В.А. Месторождения полезных ископаемых / под ред. В.А. Ермолова. – М.: МГУ, 2009. – 570 с. |
| 5 Полезные ископаемые Беларуси / под ред. П.З. Хомича. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 528 с. |
| 6 Старостин, В.И., Игнатов, П.А. Геология полезных ископаемых /  В.И. Старостин, П.А. Игнатов. – Москва: МГУ, 1997. – 304 с. |
| 7 Старостин, В.И., Игнатов, П.А. Геология полезных ископаемых /  В.И. Старостин, П.А. Игнатов. – Москва: Академический проект, 2004. – 512 с. |
| 8 Смирнов, В.М. Геология полезных ископаемых: учеб. пособие для вузов / В.М. Смирнов. – М.: Недра, 1989. – 268 с. |
| 9 Месторождения полезных ископаемых / В. А. Ермолов и др.: Учеб. для вузов. – М.: МГУ, 2001. – 571 с. |

**Практическая работа № 10 Благородные металлы**

***Краткие сведения***

Кларк ***золота*** – 4,3×10–7 % весьма низок, этот металл широко распространен в природе. Золото присутствует в водах Мирового океана и промышленно извлекается несмотря на весьма низкое содержание. В природе известны 15 золотосодержащих минералов. Основное промышленное значение имеют самородное золото, его сплавы и теллуриды.

Самородное золото всегда содержит примеси серебра, меди, железа, висмута, свинца и сурьмы. Качество золота оценивается его пробой – содержанием металла в 1000 единицах массы. Проба высококачественного золота более 900, низкокачественного – менее 700. В СНГ для изделий из золота стандартами установлены пробы 375, 500, 583 (585), 750, 958.

Золото присутствует в рассеянном виде и в виде зернообразных и неправильной формы выделений в жильном кварце или сульфидных минералах – пирите, арсенопирите, халькопирите, блеклых рудах, галените, сфалерите. Соответственно выделяют золото-кварцевые и золото-сульфидные руды коренных месторождений.

В россыпях золото наблюдается в самородном виде и отличается относительно высокой пробностью. Кондиционными являются руды коренных месторождений при содержании золота не менее 3 г/т и россыпи с содержанием металла не менее 0,1 г/т (для дражной разработки). По размеру различают дисперсные (до 10 мкм и менее), мелкие (до 0,1 мм), средние (до 1 мм), крупные (до 5 мм) и самородные (более 5 мм, или 10 г по массе) выделения золота. По данным В.И. Соболевского, за всю историю человечества было найдено не более 25–30 крупных самородков – массой более 10 кг. Масса отдельных самородков достигает 36,2 кг («Большой треугольник», Россия) и 285 кг («Плита Холтермана», найдена в Австралии в 1872 г.).

Среднее содержание ***серебра*** в земной коре составляет 7×10-6 % (по А. П. Виноградову). Кларк его для кислых, средних и основных пород изменяется несущественно и обычно составляет 5-7×10-6 %. В осадочных породах максимальные концентрации серебра устанавливаются в глинистых сланцах, где достигают 7×10-6 %. В природных условиях известны два стабильных изотопа *107Ag и 109Ag*. В химических реакциях серебро образует характерные одновалентные ионы типа купро с относительно сильной поляризацией. Ионный радиус *Ag+* равен 0,113 нм. Серебро характеризуется относительно низким энергетическим показателем ионов, что обусловливает незначительное проявление изоморфизма этого элемента и сравнительно трудное его вхождение в решетку других минералов. Наблюдается лишь постоянный изоморфизм ионов серебра и свинца.

Серебро не образует промышленных концентраций на магматическом этапе, а накапливается в постмагматических продуктах в форме тиосульфатных и хлоридных комплексов. В экзогенных условиях при окислении сульфидных месторождений серебро в виде сульфата или тиосульфата переходит в раствор и переотлагается в зоне вторичного сульфидного обогащения в самородной форме или в форме галоидов. В незначительном количестве в виде самородного серебра может встречаться в элювиальных и делювиальных россыпях.

Известно около 60 минералов, содержащих серебро. Основными являются *самородное серебро Аg* (с примесями золота, меди, висмута, сурьмы, ртути*), аргентит Аg2S*, *пираргирит Аg3SbS3*, *прустит Аg3АsS3*, *теллурид*ы и др. Типы руд и кондиции. Как уже отмечалось, серебро получают попутно при переработке полиметаллических свинцово-цинковых и медных руд, где минимальное содержание его должно быть более 10 г/т. В золотосеребряных рудах минимальное содержание металла около 100 г/т, а в рудах собственно серебряных месторождений – 400 г/т.

***В группу платиновых металлов*** кроме платины входят палладий, родий, осмий, рутений, иридий. Металлы платиновой группы благодаря высокой огнеупорности, хорошей электропроводности, химической стойкости и другим ценным свойствам используются в качестве катализаторов при получении серной и азотной кислот, высококачественного бензина и других продуктов (до 50 %), в электротехнической, автомобильной и медицинской промышленности (25 %), при производстве химической аппаратуры и антикоррозииных покрытий (15 %), ювелирных изделий (10 %). Запасы и добыча. В зарубежных странах разведано 25,2 тыс. т запасов платиновых металлов, подавляющая их масса (24,6 тыс. т) сосредоточена в Бушвельдском комплексе ЮАР.

Платиноносные месторождения известны также в Канаде, Колумбии, США, Эфиопии. Общие запасы оцениваются в 30–40 тыс. т. Месторождения платиновых металлов имеются на Урале, в Сибири (Красноярский край, Республика Саха). Весьма крупными считаются месторождения с запасами (т) свыше 50, крупными – от 5 до 50, средними – от 0,5 до 5, мелкими – менее 0,5. Добыча платиновых металлов в зарубежных странах составляет около 100 т, в том числе 70 т платины. В основном платина добывается из месторождений собственно платиновых руд ЮАР, медноникелевых руд Канады, из россыпей Колумбии, США, Эфиопии. Геохимия и минералогия. Средние содержания металлов платиновой группы таковы (%): платины и рутения по 5×10–7, палладия 1×10–6, иридия и родия по 1×10–7, осмия 5×10–6.

Известно более 90 минералов, содержащих платиноиды. Из них наиболее широко распространены *самородная платина* и твердые растворы (природные сплавы) платиноидов – *ферроплатина, палладистая платина, иридистая платина, осмистый иридий.* Встречаются также сульфиды, арсениды и сульфоарсениды платиноидов.

Платиноносными являются ультраосновные породы, хромитовые, титаномагнетитовые и медно-никелевые руды, а также россыпи. В коренных месторождениях минимальное содержание платиноидов составляет 2–5 г/т, в комплексных рудах (например, медно-никелевых) – 0,4 г/т, в россыпях – 0,5 г на 1 м3 песка.

**Генетические типы промышленных месторождений**

***Типы промышленных месторождений золота.*** Золото встречается во всех типах магматогенных (кроме пегматитов), а также в метаморфизованных и экзогенных месторождениях. Наибольшее промышленное значение имеют гидротермальные (20 % запасов и 23 % добычи), россыпные (7,5 и 6,5 %) и метаморфизованные (58 и 59 %) месторождения.

*Гидротермальные плутоногенные золото-кварцевые месторождения* связаны с гранитоидными гранодиоритовыми интрузиями. Рудные тела представлены кварцевыми жилами с видимым золотом и сульфидами, а также пиритизированными и окварцованными зонами во вмещающих породах. С арсенопиритом, пиритом и другими сульфидами связаны тонкодисперсные трудноизвлекаемые вкрапления золота. Месторождения этого типа широко распространены.

К ним относятся месторождения Кочкарское (Урал), Мурунтау (Узбекистан), Коммунар, рудник «Советский» (Западная Сибирь), Болиден (Швеция), Колар (Индия), Бендиго (Австралия), Колана (Мали), Намойа (Заир), Баомукан (Сьерра-Леоне), Поркьюпайн (Канада), Морру-Велью, Пассагейм (Бразилия). В районеместорождения Мурунтау развита толща песчаников и сланцев протерозоя-раннего палеозоя, прорванных штоками гранодиоритов и дайками гранит- и сиенит-порфиров. Оно представлено залежами сложной формы, образующими штокверк. В состав рудных тел входят кварц, ортоклаз, кальцит, галенит и др.

На гидротермальных плутоногенных золото-кварцсульфидных месторождениях распространены жилы, залегающие в массивах палеозойских гранитоидов и осадочных породах кровли. В составе руд отмечаются кварц, карбонаты, барит, пирит, халькопирит, сфалерит и галенит. Золото присутствует в самородном виде в кварце и сульфидах. К месторождениям этого типа относятся Березовское (Урал), Степняк (Казахстан), Берикульское и Саралинское (Западная Сибирь), Дарасунское (Забайкалье), Калгурли (Австралия), Материнская Жила иГрэсс-Велли (США), а также ряд месторождений Канады, Ганы, Кении.

*Гидротермальные вулканогенные золото-серебряные месторождения* приурочены к вулканогенным породам областей молодого вулканизма. В рудных телах – жилах и штокверках – оруденение распределено неравномерно. Руды сложены халцедоноподобным кварцем, кальцитом, родохрозитом, баритом, сульфидами, содержат минералы серебра, серебристое золото, теллуриды золота. К данному типу относятся месторождения Балей, Тасеевское, Белая Гора (Забайкалье), Зодское (Армения), а за рубежом –Нагиаг (Румыния), Крипл-Крик, Комсток (США), Эль-Оро (Мексика), а также месторождения Чили, Перу, Новой Зеландии, Индонезии, Японии, Океании.

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

*Золотоносные россыпи* играют существенную роль в добыче золота. Основное значение имеют аллювиальные россыпи, меньшее – морские. Крупнейшими в мире являются Калгурли (Австралия), Ном и речные россыпи (Канада, Аляска), образованные при выветривании докембрийских пород. В России россыпи промышленного значения находятся в бассейнах рек Лены, Колымы, Алдана, Бодайбо, Енисея.

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

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

В *ликвационных медно-никелевых месторождениях* платиноиды образуют тонкую примесь в сульфидах – пентландите, пирротине, халькопирите – а также встречаются в виде самостоятельных минералов.

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

*Позднемагматические месторождения* представлены скоплениями платиноносных хромитов и рассеянной платиновой минерализацией в дунитовых интрузивах. Рудные тела имеют секущие границы, структура руд сидеронитовая. К данному типу относятся месторождения Нижне-Тагильское (Урал) и Лиденбург (ЮАР). Россыпи платиноидов принадлежат к элювиальному, делювиальному и аллювиальному типам. В аллювиальных россыпях содержание платиноидов изменяется от долей грамма до сотен граммов на 1 м3. Длина россыпей достигает нескольких десятков километров, ширина – до 300 м. Платиноносные россыпи известны в СНГ (Урал), Заире, Зимбабве, Эфиопии, Колумбии, США (Аляска).

***Задание 1 Работа с контурной картой***

Нанести на контурную карту крупнейшие золоторудные районы; крупнейшие месторождения золота, серебра и платины.

***Задание 2 Подготовить презентацию по одной из тем:***

1 Исторические сведения о золоте и серебре.

2 Геохимия и металлогения золота.

3 Геохимия и металлогения серебра.

4 Геохимия и металлогения платины.

5 Эпохи рудообразования золота.

6 Эпохи рудообразования серебра.

7 Эпохи рудообразования платины.

8 Ресурсы, запасы, добыча и производство золота.

9 Ресурсы, запасы, добыча и производство серебра.

10 Ресурсы, запасы, добыча и производство платины.

11 Генетические типы промышленных месторождений золота.

12 Генетические типы промышленных месторождений серебра.

13 Генетические типы промышленных месторождений платины.

14 Крупнейшие месторождения золота.

15 Крупнейшие месторождения серебра.

16 Крупнейшие месторождения платины.

**Литература**

|  |
| --- |
| 1 Авдонин, В.В. Геология полезных ископаемых: учебник / В.В. Авдонин, В.И. Старостин. – М.: Академия, 2010. – 384 с. |
| 2 Авдонин, В.С., Бойцов, В.Е. Месторождения металлических полезных ископаемых / В.С. Авдониндр [и др.] – М.: Геоинформмарк, 1998. – 348 с. |
| 3 Высоцкий, Э.А. Генезис месторождений полезных ископаемых: пособие для студентов, обучающихся по спец. 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» / Э. А. Высоцкий. – Минск: БГУ, 2012. – 147 с. |
| 4 Ермолов, В.А. Месторождения полезных ископаемых / под ред. В.А. Ермолова. – М.: МГУ, 2009. – 570 с. |
| 5 Полезные ископаемые Беларуси / под ред. П.З. Хомича. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 528 с. |
| 6 Старостин, В.И., Игнатов, П.А. Геология полезных ископаемых /  В.И. Старостин, П.А. Игнатов. – Москва: МГУ, 1997. – 304 с. |
| 7 Старостин, В.И., Игнатов, П.А. Геология полезных ископаемых /  В.И. Старостин, П.А. Игнатов. – Москва: Академический проект, 2004. – 512 с. |
| 8 Смирнов, В.М. Геология полезных ископаемых: учеб. пособие для вузов / В.М. Смирнов. – М.: Недра, 1989. – 268 с. |
| 9 Месторождения полезных ископаемых / В. А. Ермолов и др.: Учеб. для вузов. – М.: МГУ, 2001. – 571 с. |

**Практическая работа № 11 Радиоактивные элементы**

***Краткие сведения***

***Уран*** в периодической системе элементов Менделеева имеет порядковый номер 92, атомную массу 238,07 и является членом группы элементов, выделяемых в семейство актиноидов. Кларк урана в земной коре 2,510-4%. Прослеживается закономерное его увеличение от пород ультраосновных (базитов) к основным (мезитам) и кислым (окситам).

В природе, кроме собственно урановых, существуют и урансодержащие минералы тория, циркония, редких земель. Они существенно различаются по технологическим свойствам. Наиболее легко уран извлекается из собственных минералов – карбонатов и сульфатов, фосфатов, арсенатов, ванадатов и молибдатов. Это, как правило, вторичные минералы зоны гипергенеза, в которых уран присутствует в шестивалентной форме и легко переходит в раствор при обработке, слабыми растворами кислот и соды. Хорошо извлекается уран из руд, представленных основными урановыми минералами – настураном и урановыми чернями. Более устойчивыми к процессам выщелачивания являются коффинит и особенно браннерит. Очень трудно уран извлекается из урансодержащих минералов.

Урановые месторождения различных генетических типов известны на всех континентах. Закономерности их размещения и условия формирования определяются историей геологического развития земной коры. Урановорудные месторождения отличаются разнообразием геотектонической позиции, широким временным диапазоном от докембрия до четвертичного периода и многообразием факторов, определяющих их генезис.

***Торий*** открыт в 1828 г. И. Берцелиусом при изучении радиоактивных сиенитов Норвегии в минерале торите. Торий по свойствам близок к другим актиноидам и элементам своей группы *Ti, Zr, Hf.* В природных соединениях всегда четырехвалентный. Оксид тория *ThO2* обладает жаропрочностью, трудно растворим, температура плавления 3220 °С. Торий, как уран и редкоземельные элементы, образует в природе оксиды, силикаты, титанотанталониобаты, фосфаты, карбонаты. Общий кларк *тория* 1,5×10-3 %, а концентрации в различных породах земной коры изменяются в широких пределах, прежде всего в зависимости от их петрохимического состава. В целом четко прослеживается нарастание среднего содержания тория от ультраосновных к кислым породам.

**Генетические типы промышленных месторождений**

Отличительной особенностью урановых месторождений является разнообразие условий их формирования. Выделяются месторождения эндогенной серии (позднемагматические, карбонатитовые, гидротермальные), экзогенной серии (седиментационно-диагенетические, инфильтрационные), метаморфогенной серии и полигенные.

***Месторождения эндогенной серии.***

***Позднемагматические месторождения.*** Относительно редки и связаны с пегматоидными образованиями кислых и щелочных магм, представленных аляскитовыми гранитами и карбонагитами. К магматогенным относят месторождения уранинитовой формации в аляскитовых гранитах. Типичным представителем является месторождение Россинг в Намибии. Пространственно оно приурочено к Дамарской складчатой зоне Южно-Африканской платформы.

Своеобразным месторождением в карбонатитах является Палабора (ЮАР, район Трансвааля). Это крупнейшее медное месторождение, где уран, несмотря на низкие содержания (0,001 –0,01 %), в течение ряда лет является объектом попутной добычи. Кроме основного компонента – меди из руд попутно извлекаются уран, золото, серебро и платиноиды.

***Гидротермальные месторождения***. Объединяют большую группу промышленно важных месторождений с разным составом руд, околорудных метасоматитов, вмещающих пород. Они существенно различаются и по структурам рудных полей и месторождений. Это – продукты химического и энергетического взаимодействия восходящих горячих водных растворов с боковыми породами, а также поровыми и трещинными водами окружающего пространства. Рудоотложение происходит при насыщении и пересыщении восходящих потоков растворов рудными и сопутствующими компонентами с последующим их выделением на геохимических барьерах и в структурных ловушках на пути миграции. Все эти факторы определяют разнообразие выделенных типов гидротермальных урановых месторождений.

*Месторождения урановой и железо-урановой формации в альбититах*. Месторождения располагаются в районах древних платформ, претерпевших тектоно-магматическую активизацию в конце протерозоя. Вмещающие породы представлены глубоко метаморфизованными раннепротерозойскими отложениями древних платформ. К ним приурочены ураноносные альбититы Канадского (Биверлодж), Индийского (Джадугуда), Бразильского (Итатая) щитов, Украинского кристаллического массива. Пространственное положение месторождений в Украинском кристаллическом массиве определяет крупная Кировоградско-Черкесская мобильная зона субмеридионального простирания, возникшая в результате переработки пород архейского кристаллического фундамента.

К зонам альбитизации и карбонатизации пород приурочены основные урановые месторождения. В зависимости от состава пород, степени их метаморфизма и минерального состава руд выделяются два типа месторождений: I) собственно урановые альбититовые и 2) железо-урановые. Помимо краевых глубинных разломов месторождения в альбититах известны и в пределах гранитного купола, вдоль зон меридионального и северо-восточного направлений.

Месторождения первого типа образуются в обстановке, когда процессы карбонатно-натриевого метасоматоза накладываются на породы силикатного состава типа гранитоидов. Если же процессы альбитизации охватывают породы железорудной формации (железистые кварциты), то возникают месторождения второго типа. Породы железорудной формации мегаморфизова- ны в амфиболитовой фации, а породы силикатного состава формируются в процессе ультраметаморфизма, проявлявшемся в гранитизации исходных пород.

*Собственно урановые месторождения* в альбититах залегают в породах, представленных гранитизированными амфиболовыми и слюдяными сланцами, кварцитами, мраморами и гнейсами амфиболитовой фации метаморфизма. Граниты и мигматиты образовались в связи с процессами протерозойской гранитизации метаморфических пород. По составу выделяются два типа гранитоидов: плагиоклазовые, формировавшиеся по диабаз-спилито- вой и офиолитовой формациям архея, и микроклиновые, развивавшиеся по породам осадочно-терригенных формаций. Микроклиновые граниты отличаются повышенными содержаниями урана, свинца и тория, обогащены щелочами, преимущественно калием. Содержание урана в анатектических гранитах составляет (6–9,6)×10-4 %, общее содержание щелочей (*K2O + Na2O*) – 6 – 8,5%, при этом *K2O: Na2O* = 1,5-1,9.

Минеральный состав руд довольно разнообразный и сложный. Выделяются почти все минеральные модификации урана. Наиболее часто встречаются уранотитанаты, реже – уранинит, ненандкевит, настуран и коффинит. По составу уранотитанаты близки к давидиту, но содержат кремний, железо, алюминий, и кальций. Они наблюдаются в виде тонко рассеянной вкрапленности (размеры выделений сотые доли миллиметра) в ассоциации с хлоритом, карбонатом и гематитом. Уранинит и настуран, кроме тонко рассеянной вкрапленности, слагают прожилки с карбонатами и гематитом.

***Железо-урановые месторождения*** возникли после наложения карбонатно-щелочного метасоматоза на железистые кварциты. Они залегают в железистосланцевых породах нижнего протерозоя и приурочены к глубинному разлому, ограничивающему мобильную зону на востоке рассматриваемой территории. Своеобразие месторождений этого типа заключается в приуроченности урановорудных тел к залежам магнетитовых руд, их субсогласном залегании с вмещающими породами, интенсивно измененных в ходе процессов щелочного и карбонатного метасоматоза. Урановые месторождения приурочены к железистым и алюмосиликатным породам, смятым в сложные синклинальные складки с флексурными изгибами. Участки интенсивного проявления складчатости осложнены разрывными нарушениями, а породы изменены процессами карбонатного и натриевого метасоматоза. Такие благоприятные участки определяют пространственное положение железо-урановых месторождений, тяготеющих к участкам центриклинального замыкания узкой синклинальной складки или к крупным флексурным изгибам пород продуктивной серии, которые прослеживаются как по простиранию, и по падению пород. Железорудные залежи представлены пласто-, линзо- и столбообразными телами амфибол-магнетитового и карбонат-магнетитового состава, локализующимися в железистых роговиках, джеспелитах и сланцах.

***По минеральному составу и текстурам различают три типа урановых руд: уранинит-магнетитовый, непадкевит-альбитовый и настуран-коффинитовый.***

*Уранинит-магнетитовые руды* представлены тонкорассеянной вкрапленностью уранинита (0,001 – 1 мм) н доломите и эгирине, ассоциирующего с магнетитом. Уранинит в тесном срастании с гематитом окружает относительно более крупные зерна мартитизированного магнетита. Для руд характерна полосчатая текстура, унаследованная от магнетитовых руд.

В *ненадкевит-альбитовых рудах* главный уранопый минерал – ненадкевит – слагает мелкие прожилки, гнезда или тонкорассеянную вкрапленность (0,001–0,1 мм) в мелкозернистых альбититах, в состав которых в небольшом количестве входят эригин, рибекит, хлорит, кальцит, гематит. Кроме ненадкевита отмечены браннерит и уранинит. Руды этого типа формируют промышленные залежи урановых руд силикатного типа.

*Настуран-коффшштовые руды* локализуются в карбонатных или натриевых метасоматитах. Для них типичны прожилковые и брекчиевые текстуры. Встречаются достаточно часто, но в ограниченных количествах и самостоятельного промышленного значения не имеют.

Месторождения двух выделенных типов имеют общий генезис и отличаются лишь тем, что метасоматиты железо-урановых месторождений развивались по породам железорудной формации, а собственно урановых месторождений – по силикатным породам гранитоидного состава.

В настоящее время существуют три концепции их формирования: метаморфогенная, гидротермальная постмагматическая и метеорно-ювенильная. По совокупности имеющихся данных определения абсолютного возраста вмещающих пород и урановых руд, изотопных анализов кислорода и углерода, наиболее убедительной представляется концепция о формировании урановых месторождений в связи с процессами протерозойской тектоно-магматической активизации древних платформ. Вероятным источником металла могли быть комплексы древних пород, обогащенные ураном.

***Месторождения урановой, золото-урановой и никель-урановой формации*** в магнезиальных метасоматитах. Впервые выявлены в 70-х гг. XX в. в пределах докембрийских щитов Австралии и Канады. В геологической литературе получили название урановых месторождений несогласия. Обладают большими запасами высокосортных урановых руд (более 25% мировых запасов урана капиталистических и разивающихся стран), иногда ассоциирующих с золотом или никелем. Несмотря на пространственную разобщенность урановых месторождений Австралии и Канады, в их строении и условиях образования отмечено много общего, что позволило объединить эти объекты в единую группу. На всех месторождениях достаточно четко проявлена рудоконтролирующая роль крупных геологических несогласий между верхними формациями геосинклинального структурного этажа и залегающими на их эродированной поверхности протерозойскими отложениями платформенного чехла.

***Месторождения золото-урановой формации в калиевых метасоматитах (гумбеитах).*** Месторождения этого типа расположены в докемб- рийском фундаменте центральной части Алданского щита в области развития кольцевых структур и разнонаправленных долгоживущих разломов. Породы фундамента с ранней юры испытали интенсивную текто- но-магматическую активизацию. Она проявилась в интенсивном магматизме, формировании горстообразных поднятий, небольших впадин, заполненных маломощными песчано-глинистыми и вулканогенными отложениями юрского возраста, а также в активной гидротермальной деятельности. Все урановые месторождения приурочены к крупным разломам в породах фундамента, подновленным в период тектоно-магматической активизации.

***Месторождения урановой формации в пиритизированных углеродистых сланцах, алевролитах и песчаниках.*** Месторождения этой формации, выделяемые как месторождения жильного типа, широко развиты во многих срединных массивах и, прежде всего, в Чешском и Французском. На территории Чехии – это крупные жильные месторождения Пршибрам, Яхи- мов; в Германии – Шлема Альберода; во Франции – Буа-Ниар и др.

***Месторождения фосфор-урановой формации в эйситах и молибден-урановой в березитах*** Месторождения этих близких по геологическому строению месторождений широко проявлены в пределах Кокчетавского срединного массива на территории Северного Казахстана. К ним относятся Грачевское, Косачиное, Заозерное, Маныбай, Восток, Звездное, Ишимское и др.

*Молибден-урановая формация* включает большое количество мелких и средних месторождений. Их объединяет ряд устойчивых геологических особенностей: 1) пространственная и парагенетическая связь с комплексами пород андезит-диоритовой и гранит-ли- паритовой магматических формаций континентального позднеорогенного вулканизма в пределах геосинклинально-складчатых областей; 2) штокверковое внутреннее строение рудных тел различной морфологии с прерывистым и весьма прерывистым распределением рудных компонентов; 3) устойчивая пространственная и генетическая связь уранового оруденения с различными фациями ме- тасоматической формации березитов; 4) оксидно-силикатный состав урановых минералов (коффинит, настуран, уранинит) в ассоциации с сульфидами молибдена, железа, свинца, меди, мышьяка и других тяжелых металлов.

Среди минералов молибдена развиты молибденит и иордизит, имеющие на многих месторождениях промышленное значение. Установлена вертикальная минеральная зональность, в которой на верхних горизонтах месторождений проявились пирит-настурановые и галенит-настурановые минеральные типы руд, а на нижних – молибденит-настурановые с коффинитом. Время образования наиболее крупных среди рассматриваемых месторождений в истории формирования фанерозойских складчатых областей относится к заключительным стадиям орогенного этапа эволюции. Андезит-диоритовый и гранит-липаритовый магматические комплексы поздних стадий орогенеза наиболее близки по возрасту к месторождениям молибден-урановой формации.

Урановые месторождения сосредоточены в крупных геоантиклинальных блоках и залегают в породах как нижнего структурного яруса геосинклинального цикла развития, так и орогенного структурного этажа фанерозойских складчатых областей. Рудовмещающими породами нижнего структурного этажа являются кремнистые, глинисто-кремнистые сланцы и песчаники флишоидной терригенно-осадочной формации. В пределах орогенного структурного этажа месторождения локализуются в слоистых толщах тектоно-вулка- нических депрессий и в субвулканических интрузиях.

Формирование урановорудных полей и месторождений во многом определяется магматической деятельностью. Обычно она проявляется многофазно, продуцируя структурно-сопряженные тела различных фаций. Магматические фации объединяют породы, образовавшиеся в определенной геологической обстановке. Выделяются эффузивная, жерловая, субвулканическая, интрузивная и дайковая фации. В эффузивной фации различают покровную и экструзивную субфации. Устанавливается пространственная и парагенетическая связь молибден-урановых месторождений с по- лифациальными многофазными гипабиссальными магматическими комплексами, завершающими магматизм гранит-липаритовой формации.

По условиям локализации оруденения различают три группы урановых месторождений: в зонах влияния крупных разломов; в субвулканических интрузивах; в сложных слоистых покровах вулканических депрессий.

***Месторождения флюорит-урановой формации в аргиллизитах.*** Наиболее хорошо разведаны и изучены в пределах Стрельцовского урановорудного района. Такие объекты известны и на смежных территориях в Монголии и Китае. Стрельцовское рудное поле расположено в краевой части Урулюнгуевского срединного массива в пределах Монголо-Приаргунского вулканического пояса. В течение длительного времени, начиная с протерозоя, срединный массив развивался в режиме устойчивого воздымания. Активное развитие процессов гранитизации сопровождалось привносом в верхнюю часть земной коры большого количества калия, урана, тория, титана. Крупные сводовые поднятия и гранитогнейсовые купола являются типоморфными структурами фундамента.

Урановые месторождения сформировались в результате интенсивных процессов позднемезозойской тектоно-магматической активизации и приурочены к вулкано-тектонической депрессии кальдерного типа (депрессии проседания). Периферия депрессии ограничена дугообразными разломами кальдеры, которые определяют границы площади рудного поля. В стратиграфическом разрезе выделяется два структурных этажа. Нижний сложен гнейсовидными крупно- и среднезернистыми гранитами с ксенолитами древних кристаллических сланцев и мраморизо- ванных известняков. Фундамент претерпел длительную эволюцию, завершившуюся формированием поднятия в раннем палеозое.

***Месторождения урановой формации в углеродисто-кремнистых («черных») сланцах.*** В углеродисто-кремнистых сланцах сосредоточены огромные запасы урана, но промышленные месторождения собственно урановых руд довольно редки и возникают при благоприятном сочетании стратиграфических, литологических, структурных, магматогенных и гидрогеологических факторов. Наибольший промышленный интерес представляют месторождения Роннебургского рудного поля (Германия) в геосинклинальных отложениях палеозойской складчатой области в обрамлении Чешского срединного массива. В стратиграфическом разрезе рудного района выделяют два структурных этажа: 1) геосинклинальный и орогенный (О-Р,); 2) платформенный (P2-Q); породы кристаллического фундамента не вскрыты. Общая мощность отложений геосинклинального структурного этажа составляет около 2000 м, платформенного – около 700. Рудное поле приурочено к области пересечения двух крупных зон глубинных разломов. Это проявилось в интенсивной тектонической проработке вмещающих пород, в образовании сложных складчатых деформаций, развитии надвигов и шарьяжей.

Характерная особенность стратиграфического разреза – гетерогенность состава вмещающих толщ и наличие горизонта пород углеродистой формации с повышенным содержанием урана – от 25 до 60 г/т. Среди пород продуктивной толщи, имеющей общую мощность около 450 м, снизу вверх выделяются: 1) известково-алевролитовые сланцы с пиритом верхнего ордовика, слабо водопроницаемые, контакт с ними представляет собой водоупорную поверхность для растворов вышележащих толщ; 2) углеродисто-кремнистые и углеродисто-глинистые сланцы нижнего силура с прослоями доломитов, хрупкие, водопроницаемые, с повышенной восстановительной емкостью; 3) кремнистые углеводородсодержащие сланцы и известняки нижнего и среднего девона со средней водопроницаемостью.

**Экзогенные месторождения.**

Месторождения этой серии дают около половины мировых запасов, и ежегодно добыча руд из них возрастает. О н и широко распространены на всех континентах и во многих странах мира: на территории Северной Америки (Колорадско-Вайомингская рудная провинция), в западной части Аргентины, вдоль восточных предгорий Анд, в Нигерии (Мали-Нигерийская рудная провинция), в пределах Средне-Чешского и Центрально-Французского срединных массивов, на территории Мексики, Канады, Австралии, Италии, Югославии, Венгрии, Японии. Крупные запасы урана разведаны на территории Казахстана и Узбекистана – Чу-Сарысуйская, Сыр-Дарьинская, Кызыл-Кумская и другие рудные провинции.

***Месторождения селен-ванадий-урановой формации в песчаниках.*** Месторождения этой группы являются важным поставщиком урановых руд и известны практически на всех континентах. Их геологическое положение определяется благоприятным сочетанием климатических, гидрогеологических, литолого-фациальных и тектонических условий. Климатический фактор играет важную роль в формировании вод, обогащенных кислородом и ураном.

Такие условия возникают в областях с аридным климатом. Отсутствие в аридных областях сплошного растительного покрова и крайне низкое содержание органического вещества в почвах благоприятствует обогащению подземных вод кислородом, так как он не расходуется на окисление органического вещества. Интенсивное испарение приводит к повышению концентраций содержания урана в водах, что на один-два порядка выше, чем в водах гумидных областей. Оба фактора в совокупности создают условия для накопления и миграции урана в форме уранил-карбонатных комплексов. Кроме того, в районах с засушливым климатом уровень грунтовых вод значительно ниже, чем в гумидных областях. Это способствует тому, что обогащенные ураном трещинные фунтовые воды проникают в водоносные горизонты артезианских бассейнов и не рассеиваются, вытекая в поверхностные водотоки.

Большинство рудных районов приурочено к артезианским бассейнам инфильтращюнного типа, где нисходящие потоки подземных пластово-поровых вод в верхней части разреза контактируют с фунтовыми водами и несут растворенный кислород. Распространяясь по проницаемым пластам песчаников, эти воды формируют зоны пластового окисления протяженностью в десятки и сотни километров.

***Месторождения урановой формации в калькретах.*** Месторождения, объединенные в эту группу, выявлены и разведаны в последние 10 – 15 лет в Австралии (Йилирри и др.), Намибии (Лонгер-Хейнрих), Сомали и других регионах. Они выделяются как месторождения близповерхностных первичных слюдковых руд и приобретают все большую практическую значимость благодаря неглубокому залеганию рудных тел, их простой морфодогии и дешевому извлечению урана из руд. Рудные минералы, представленные преимущественно карнотитом, развиты в своеобразных карбонатных (калькреты, каличе) или гипсовых (гипкре- ты) породах, слагающих тела плитообразной формы в почвах и аллювиальных отложениях аридных климатических провинций.

Становление урановых месторождений в калькретах связано с накоплением аллювиальных отложений в долинах рек, происходившим, начиная с плиоцена. В условиях аридного климата получили широкое развитие конусы выноса и соляные озера. Вдоль речных систем, в речных долинах или по краям соляных озер образовались калькреты. Осадочный материал русловых отложений представлен аллювием, эвапоритами и калькретами. Русловый аллювий различается по минеральному и гранулометрическому составу и состоит из глин с обломками кварца и полевого шпата, суглинков и песков. Поверхностный слой аллювия сцементирован кремнеземом или карбонатным материалом. Эвапориты появляются в глинистых отложениях конусов выноса и соляных озер, представлены сульфатами и хлоридами – гипсом, целестином и галитом.

**Метаморфогенные месторождения.**

Наиболее крупные месторождения этой урановорудной формации развиты в южном обрамлении Трансваальского массива (район Витватерсранд, ЮАР), в южной части Канадского щита (район Эллиот-Лейк), в обрамлении массива Сан-Франциско на Бразильском щите (районы Железный Четырехугольник, Жакобино и др.), в массиве Шейю (Франсвильский район, Габон). Месторождения пространственно тяготеют к жестким массивам – кратонам, сложенным глубоко метаморфизованными породами архея. В их обрамлении, в краевых частях эпикратонных впадин, заполненных платформенными осадками, расположены месторождения ураноносных конгломератов. Они приурочены к основанию или нижней части мощных осадочных и осадочно-вулканогенных серий пород, залегающих с резким несогласием на гранитогнейсах и зеленокаменных породах архея и протерозоя. Их формирование происходило в интервале от 2,8 до 2 млрд лет до нашего времени. Толщи всех месторождений имеют сходный состав; конгломераты, как правило, залегают согласно с аркозовыми и полимиктовыми песчаниками и характеризуются высокой степенью сортировки обломочного материала, равномерной и сравнительно невысокой концентрацией рудных компонентов, включая уран, находящихся в цементе. Метаморфизованы конгломераты в зеленосланцевой фации.

***Типы промышленных месторождений тория.*** В настоящее время основная добыча тория идет из монацита россыпных месторождений, которые эксплуатируются прежде всего на титан, цирконий, олово, редкоземельные элементы. Монацит отделяется от других тяжелых минералов (ильменита, рутила, граната, циркона, магнетита) в процессе селиктивной флотации. Наиболее важными поставщиками монацита являются прибрежно-морские пляжевые отложения. Кроме монацита они содержат ильменит, рутил, циркон, касситерит, хромит и др.; реже встречаются торит, ураноторит и ураноторианит.

Монацит имеет удельную массу от 4,8 до 5,5 г/см3 и содержит тория от 8,8 до 10,5 %, редко до 25 %. Он принадлежит к легкой фракции тяжелых минералов и ассоциирует с ильменитом, рутилом, цирконом, магнетитом, гранатом и силлиманитом. Пляжевые россыпи наиболее крупные по размерам. Они прослеживаются на сотни километров в длину при ширине в несколько километров и объединяют около 20 % мировых ресурсов тория.

К прибрежно-морским россыпям относятся месторождения Керала в Индии, Северо-восточной Бразилии, Северной и Южной Каролины в США. Самые крупные прибрежно-морские россыпи протягиваются вдоль западного берега Индии в штате Керала. Они были основным поставщиком тория с начала этого столетия. Источником монацита были мигматиты, претерпевшие глубокое латеритное выветривание с последующей природной сортировкой тяжелых минералов в прибрежно- пляжевых песках. Общие ресурсы монацита оцениваются в 4 млн т с содержанием тория 7 – 9,2 %. Важным промышленным типом месторождений тория могут быть кварцево-галечные древние конгломераты, где торий можно получить как побочный продукт при разработке их на уран и редкие земли. Основные минералы здесь – обломочный монацит, уранинит, ураноторианит, ураноторит, ксенотим, браннерит. Минералы находятся в цементе хорошо сортированных конгломератов в базальных горизонтах эпи- и перикра- тонных впадин. Конгломераты с урановой и ториевой минерализацией залегают в виде слоев в древних породах архейского возраста. Представителями этого типа месторождений являются Эллиот-Лейк в Канаде, Сьерра-де-Жакобина в Бразилии и др.

В распределении ресурсов тория по типам месторождений ведущее место занимают карбонатиты (40 % от общего количества ресурсов), жильные месторождения (31), россыпи (19), щелочные интрузивы (4), кварцево-галечные конгломераты (4), другие (2).

***Карбонатиты*** относят к породам щелочно-ультра- основного ряда. Они отличаются низким содержанием кремния и высоким – карбонатов (50 %), содержат минералы редких земель, тантала, ниобия, титана, меди циркония, тория. Торий в карбонатитах входит в состав ниобиевых и редкоземельных минералов и может извлекаться как побочный продукт при разработке ниобиевых, редкоземельных и медных руд. Крупными месторождениями этого типа являются Араша в Бразилии, Маунтин-Пасс в Калифорнии, Палабора в ЮАР.

***Пневматолито-гидротермальные и гидротермальные руды жильного типа*** объединяют большие запасы тория с высоким его содержанием. Рудные тела различаются составом жильного выполнения: кварцево-шелочно-полевошпатовые, кварц-баритовые, барит-флюоритовые, кальцитовые, аппатит-кварцевые. Главные ториевые и торийсодержащие минералы – монацит, торит и ура- ноторианит. Кроме того, торий накапливается в акцессорных минералах и в связи с оксидами железа. Характерный представитель гидротермальных жильных месторождений – Лемхи-Пасс в США и др. Содержание диоксида тория меняется от 0,1 до   
0,75 %. Щелочные интрузивные комплексы включают типичные сиениты и породы щелочного семейства, обогащенные торием на уровне 0,003 – 0,01 %. Однако отдельные разности щелочных пород в Бразилии и нефелиновых сиенитов Гренландии содержат высокие концентрации тория (соответственно до 2 и 0,45 %). С альбит-кварц-микроклиновыми метасоматитами в интрузиве субщелочных сиенитов связано крупное редкометальное месторождение Улуг-Танзек (Тува, Россия). Основные рудные минералы представлены пирохлором, колумбитом, малоконом, ферриторитом. С ферриторитом связано 70 % запасов тория, а среднее содержание тория в породах массива 0,084 %.

***Задание 1 Нанести на контурную карту урановые формации с указанием крупнейших месторождений.***

***Задание 2 Подготовить презентацию по генетическим типам урановых месторождений.***

**Литература**

|  |
| --- |
| 1 Авдонин, В.В. Геология полезных ископаемых: учебник / В.В. Авдонин, В.И. Старостин. – М.: Академия, 2010. – 384 с. |
| 2 Авдонин, В.С., Бойцов, В.Е. Месторождения металлических полезных ископаемых / В.С. Авдониндр [и др.] – М.: Геоинформмарк, 1998. – 348 с. |
| 3 Высоцкий, Э.А. Генезис месторождений полезных ископаемых: пособие для студентов, обучающихся по спец. 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» / Э. А. Высоцкий. – Минск: БГУ, 2012. – 147 с. |
| 4 Ермолов, В.А. Месторождения полезных ископаемых / под ред. В.А. Ермолова. – М.: МГУ, 2009. – 570 с. |
| 5 Полезные ископаемые Беларуси / под ред. П.З. Хомича. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 528 с. |
| 6 Старостин, В.И., Игнатов, П.А. Геология полезных ископаемых /  В.И. Старостин, П.А. Игнатов. – Москва: МГУ, 1997. – 304 с. |
| 7 Старостин, В.И., Игнатов, П.А. Геология полезных ископаемых /  В.И. Старостин, П.А. Игнатов. – Москва: Академический проект, 2004. – 512 с. |
| 8 Смирнов, В.М. Геология полезных ископаемых: учеб. пособие для вузов / В.М. Смирнов. – М.: Недра, 1989. – 268 с. |
| 9 Месторождения полезных ископаемых / В. А. Ермолов и др.: Учеб. для вузов. – М.: МГУ, 2001. – 571 с. |

**Практическая работа № 12 Рассеянные элементы**

***Краткие сведения***

***Скандий*** обладает уникальным сочетанием свойств: низкой плотностью, почти равной алюминию, и высокой температурой плавления, в два с половиной раза превышающей таковую у алюминия. Основная форма нахождения скандия в природе – рассеяние его в породообразующих минералах железа и магния. В настоящее время известно всего пять собственных минералов скандия, из которых четыре являются силикатами, а один – фосфатом. Все они очень редки. Скандий добывается попутно при переработке урановых и титановых руд, в меньшей степени вольфрамита, танталит-колумбита и ряда других минералов. В последние годы детально изучено несколько типов собственных месторождений скандия, которые были выявлены 13 – 25 лет назад, но серьезное внимание приобретают лишь сейчас – это скандиеносные метасоматиты и их коры выветривания. К числу собственных месторождений относятся и гранитные пегматиты с тортвейтитом.

***Рений*** ближе всего к молибдену, вольфраму и металлам группы платины, температура плавления 3180 °С, кипения – 5600 °С. Содержание *Re* в земной коре систематически не изучено, кларк, по   
А.П. Виноградову, 0,7 мг/т, в разных породах – 0,2-1,1. Выявлено шесть минералов рения: четыре сульфида, один оксид и один самородный. Минералы-носители рения являются сульфидами, среди которых преобладает молибденит; содержание рения в нем от следов до 0,3 %. Оксиды рения низких валентностей (в процессе разложения проб при подготовке к анализу) обладают высокой летучестью, что приводит к занижению результатов анализа. Иначе не понятно, каким образом в природе уже установлено шесть собственных минералов металла, имеющего самый низкий кларк.

***Кадмий.*** Собственные минералы кадмия (11 сульфидов) в природе обнаруживаются довольно редко и не имеют самостоятельного практического значения, за исключением одного цинково-кадмиево-серебряного рудопроявления в Боливии. Чаще других встречается гринокит *CdS* (76 %). Среди минералов-носителей особенно высокие содержания кадмия характерны для сульфидов (в г/т): сфалерит 70 – 82000; халькопирит 30–1200; тетраэдрит 500 – 17900; борнит 16 – 1000; бурнонит 50 – 100.

Большая часть активных запасов находится в различных свинцово-цинковых, медно-цинковых колчеданных, гораздо меньшая – в медных, олово-сульфидных, золото-сульфидных и некоторых других месторождениях, в которых практически весь кадмий заключен в основных рудообразующих сульфидных минералах. Наиболее важный его минерал-носитель – это сфалерит.

***Галлий***. У галлия обнаружено четыре собственных минерала (сульфиды и гидроксид). В мировой практике источниками промышленного получения галлия являются руды алюминия и цинка. Основные концентраторы галлия: нефелин (20–40 г/т) и содалит (70-500 г/т). Редкометально-полиметаллические месторождения с минералами галлия и германия характеризуются наивысшими среди всех природных образований содержаниями галлия (0,5– 1,2 % в руде). Однако подобные руды известны только на двух месторождениях – Цумеб (Намибия) и Кипуши (Заир), где галлий присутствует в виде собственных первичных (галлит, майг- рюн, корневалит) и вторичных (зенгеит) минералов и в существенных количествах (в %) входит в решетку германита (0,74–1,5), реньерита (0,52), бриартита (до 2,2), флейшерита (0,56), сфалерита (0,005-0,010)8.

***Индий.*** Средние содержания индия в различных породах земной коры составляют десятки миллиграммов на тонну. Известно пять сульфидов индия, которые не имеют самостоятельной промышленной ценности. Собственных месторождений у индия нет. Он добывается попутно из руд *Zn, Pb, Cu и Sn.* Наиболее обогащены им цинковые концентраты (2–800 г/т), меньше – медные (0,5–100), оловянные (10–124) и свинцовые (1–10). В мировом производстве до 80 % индия приходится на свинцово-цинковые месторождения, в которых заключены и основные его запасы (70 – 75%)

***Таллий.*** У таллия выявлено 30 минералов, все они крайне редки и собственных месторождений не образуют. Таллий – типичный попутный компонент и добывается в основном при переработке сульфидных свинцовых и цинковых руд, а также из пиритных продуктов и мышьяковых руд. Наибольшими масштабами таллиеносности характеризуются колчеданно-полиметаллические, стратиформные свинцово-цинковые, золото-серебряные руды и железо-марганцевые океанические конкреции. Основные минералы-носители таллия: сфалерит, марказит, галенит, средние содержания в которых по месторождениям составляют десятки и первые сотни г/т.

***Германий.*** В природе известно 20 минералов германия, из которых восемь сульфидов и 12 кислородных соединений (последние в зоне окисления). Собственные месторождения образуют германит и реньерит. Практически на протяжении всего эндогенного рудного процесса у германия, как и у галлия, оксифильные и сидерофильные свойства преобладают над сульфурофильными. В экзогенном процессе германий проявляет сидеро- и органофильные свойства, накапливаясь в железных и угольных месторождениях, формировавшихся в условиях активной вулканической деятельности. Среди германийсодержащих месторождений выделяются две группы: 1) германий-угольные, германий-сульфидные и германий-сульфосольные месторождения, содержащие сотни граммов на тонну германия; здесь германий составляет главную промышленную ценность руд; 2) традиционные комплексные руды цветных и черных металлов, коксующихся и энергетических углей, в которых германий является попутным элементом.

***Селен.*** У селена установлено 80 собственных минералов, в том числе: один – самородный, 67 селенидов, 12 оксидов и других кислородных соединений (все 12 из зоны окисления). Однако ни один из его минералов не образует собственные месторождения. Содержания селена в рудах медно-цинково-колчеданных и серно-колчеданных месторождений самые высокие среди сульфидных месторождений. Для колчеданного месторождения Болиден они следующие (в г/т): халькопирит – 700 – 1400, пирит – 40 – 300, сфалерит – 300 – 900, пирротин – 20 – 70, арсенопирит – 400 – 1600. Селен часто встречается в экзогенных урановых месторождениях. Высокие содержания селена отмечены в фосфоритах формации Фосфория (США).

***Теллур*** извлекают только попутно при переработке сульфидных медных, отчасти свинцовых руд, а также золото-серебро-теллуровых руд. Распространенность *Te* в земной коре и породах не изучена. В природных условиях обнаружено более 100 минералов теллура. Наибольшее их число принадлежит к классу теллуридов и сульфотеллуридов, из них основная часть приходится на различные соединения с висмутом и благородными металлами, остальная – на *Cu, Fe, Ni, Co, Pb* и др. В качестве промышленных минералов-носителей теллура (в виде изоморфной и микроминеральной примеси) наиболее важное значение имеют халькопирит, галенит, пирит, пентландит, пирротин, молибденит, сфалерит, антимонит, киноварь и некоторые другие. Более 2/3 мирового производства теллура получают при переработке медных минералов, главным образом халькопирита.

Активные запасы теллура заключены в медных, свинцово-цинковых, никелевых, а также некоторых месторождениях благородных металлов. По запасам и добыче теллура на первом месте стоят медные месторождения, из которых производится значительно больше половины получаемого в мире теллура. Минералы теллура в медно-никелевых рудах: гессит, алтаит, сильванит, калаверит, мелонит, имгрэ- ит, мончеит, майченерит, котульскит, темагамит, теларгпалит, винцентит и др.

**Генетические типы промышленных месторождений**

***Биотитоносные микроклиновые пегматиты с тортвейтитом.*** Известны в России (Карелия, Горный Алтай), Казахстане, Швеции, Норвегии и на Мадагаскаре. Главные породообразующие минералы жил – кварц, олигоклаз, микроклин, биотит, иногда присутствует клевеландит; акцессорная минерализация представлена тортвейтитом, цирконом, ферпосонитом, гадолинитом, ортитом, эвксенитом, самарскитом, хлопинитом, монацитом, ксенотимом, уранинитом, торитом и др.

***Скандиеносные акмит-доломитовые в метасоматиты и их коры выветривания.*** С конца XlX столетия месторождение Желтые Воды (Украина) разрабатывалось на железо, с 1940-х годов – на уран, а в последние 15 лет в боковых породах отработанного уранового месторождения было выявлено интенсивное развитие комплексных руд *Sc, V, Lny, Zr, Hf*. Район месторождения сложен комплексом докембрийских пород, перекрытых чехлом рыхлых кайнозойских отложений мощностью 10 – 80 м. Руда имеет нижнепротерозойский возраст. Выделяются два типа руд: ванадий-скандиевые и скандий-цирконий-редкоземельные. Ванадий-скандиевые руды преимущественно приурочены к карбонатным метасоматитам (и альбит-карбонатным), скандий-цирконий-редкоземельные – к альбититам. Важнейшей геохимической особенностью скандиевых руд месторождения является уникальный иттриевоземельный состав лантаноидов.

***Германий-угольные месторождения.*** На Дальнем Востоке России, где выявлены германий-угольные месторождения эоценового и олигоценового возрастов, кайнозойское углеобразование протекало на фоне затухающего вулканизма верхнемелового-палеогенового цикла. Угли всех известных германий-угольных месторождений – бурые. Для всех выявленных германий-угольных месторождений характерен лимнический тип угленакопления.

***Германит-реньеритовые месторождения.*** Цумеб, Асис (Намибия), Кипуши (Заир) – несколько десятков лет являются основными поставщиками германия на мировом рынке. Месторождения сосредоточены в верхнепротерозойских осадочных породах. Руды содержат: *Ge, Zn, Cu, Pb, Cd, Ga* и др. Месторождение Цумеб и Кипуши относятся к разряду весьма крупных, Асис – мелких. В районе Цумеба развиты медные и своеобразные свинцово-цинково-ванадиевые (Абенаб и др.) месторождения, а в районе Кипуши – широко известный пояс медных стратиформных месторождений, обогащенных *Co, U* и другими элементами. Рудное тело Цумеба трубообразное, Кипуши – более сложной формы, но также кругопадающее. Руды сплошные, брекчиевые, прожилковые, реже вкрапленные. Хорошо развиты зоны окисления и вторичного сульфидного обогащения. Оруденение прослеживается на значительную глубину (на месторождении Цумеб около 1000 м). В Цумебе широко, хотя и неповсеместно, примерно в равных количествах развиты германит и реньерит, а в Кипуши – только реньерит. Содержание германиевых минералов в Цумебе на некоторых участках достигает нескольких десятков процентов. Запасы германия исчисляются тысячами тонн.

***Стратиформные германийсодержащие свинцово-цинковые месторождения***. Широко распространены в различных районах мира. Высокие концентрации германия обычны в сфалерите (в среднем 190 г/т). На Юго-Западе Европы, где находится крупнейшая провинция германийсодержащих стратиформных руд, высокие концентрации германия (400– 1950 г/т) характерны для цинковых обманок (в г/т): Миесс и Кройт – 400, Райбл – 800, Изер- лон, Брилон – 900, Аахен – 1950. Главный минерал-концентратор германия в рудах месторождений оксифильной группы – топаз, содержащий его до 1500 г/т. Для месторождений железистых кварцитов докембрия России и Украины среднее содержание германия 6 г/т, в магнетитовых кварцитах Кременчугского района – от 9 до 50, в среднем 29 г/т. Магнетит-гематитовые руды Казахстана отличаются повышенным содержанием германия – 70 г/т. Главный минерал-носитель – магнетит.

Среди различных типов золото-серебряных месторождений собственно золоторудные часто обладают повышенными концентрациями ***теллура.*** Теллуром в разной степени могут быть обогащены как сульфидсодержащие, так и практически бессульфидные месторождения. Содержание теллура в самородном золоте разнотипных месторождений востока России составляет   
(в г/т): малосульфидных – от 200 до 474, умеренно сульфидных – 350, сульфидных – 420. В близповерхностных преимущественно распространены теллуриды золота и серебра, а в месторождениях средних глубин – теллуриды висмута. Золото-теллуридные месторождения – несколько крупнейших золоторудных месторождений, в которых золото в основном представлено теллуридами: Калгурли (Австралия), Крипл-Крик, Комсток и Голдфилд (США). Обычно приурочены к вулканическим депрессиям или кальдерам и характеризуются минералогически сложным телескопированным оруденением, формирование которого считается близ поверхностным.

***Задание 1 Подготовить презентации по рассеянным элементам.***

**Литература**

|  |
| --- |
| 1 Авдонин, В.В. Геология полезных ископаемых: учебник / В.В. Авдонин, В.И. Старостин. – М.: Академия, 2010. – 384 с. |
| 2 Авдонин, В.С., Бойцов, В.Е. Месторождения металлических полезных ископаемых / В.С. Авдониндр [и др.] – М.: Геоинформмарк, 1998. – 348 с. |
| 3 Высоцкий, Э.А. Генезис месторождений полезных ископаемых: пособие для студентов, обучающихся по спец. 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» / Э. А. Высоцкий. – Минск: БГУ, 2012. – 147 с. |
| 4 Ермолов, В.А. Месторождения полезных ископаемых / под ред. В.А. Ермолова. – М.: МГУ, 2009. – 570 с. |
| 5 Полезные ископаемые Беларуси / под ред. П.З. Хомича. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 528 с. |
| 6 Старостин, В.И., Игнатов, П.А. Геология полезных ископаемых /  В.И. Старостин, П.А. Игнатов. – Москва: МГУ, 1997. – 304 с. |
| 7 Старостин, В.И., Игнатов, П.А. Геология полезных ископаемых /  В.И. Старостин, П.А. Игнатов. – Москва: Академический проект, 2004. – 512 с. |
| 8 Смирнов, В.М. Геология полезных ископаемых: учеб. пособие для вузов / В.М. Смирнов. – М.: Недра, 1989. – 268 с. |
| 9 Месторождения полезных ископаемых / В. А. Ермолов и др.: Учеб. для вузов. – М.: МГУ, 2001. – 571 с. |

**Практическая работа № 13 Редкоземельные элементы и иттрий**

***Краткие сведения***

К редкоземельным элементам (ТR) относятся *лантан Lа, церий Се, празеодим Рr, неодим Nd, прометий Рm, самарий Sm, европий Еu, гадолиний Gd, тербий Тb, диспрозий Dy, гольмий Но, эрбий Еr, тулий Тm, иттербий Yb, лютеций Lu и иттрий Y.*

Редкие земли используются в металлургии как легирующие и модифицирующие добавки, повышающие механические свойства, тепло- и жаропрочность сплавов черных и цветных металлов. Они применяются как катализаторы при крекинге нефти, в производстве кинескопов цветных телевизоров, люминофоров, сверхмощных магнитных сплавов, лазеров и мазеров, регулирующих стержней (*Gd, Sm, Еu*) в атомных реакторах, как источники радиоактивного излучения. Запасы и добыча. Мировые запасы редкоземельных элементов (без СНГ) оцениваются в 45 млн т.

Крупными считаются месторождения с запасами более 500 тыс. т ТR2О3, средними – 500–100 тыс. т, мелкими – менее 100 тыс. т. Богатые руды содержат более 1–2 % ТR2О3, бедные – менее 0,3 %. Производство редкоземельных концентратов (60 % ТR2О3) в зарубежных странах составляет 50 тыс. т, в том числе около 60 % в США. Редкие земли получают как из собственно редкоземельных руд (бастнезитовые и моноцитовые), так и попутно при переработке тантало-ниобиевых и урановых руд.

**Генетические типы промышленных месторождений**

Месторождения редких земель являются, как правило, комплексными. Основное промышленное значение имеют следующие типы: магматические, пегматитовые, гидротермальные плутоногенные, скарновые, остаточные выветривания, осадочные (россыпи и биохимические).

***Гидротермальные плутоногенные месторождения*** пространственно и генетически связаны с массивами щелочных грано-сиенитов и приурочены к тектоническим нарушениям. Рудные тела имеют форму линз и жил. Состав руд сложный. Жильную массу образуют карбонаты кальция, магния и железа, магнетит, барит, флюорит, кварц; рудные минералы представлены бастнезитом, паризитом, монацитом. Такого типа месторождения известны в США (Маунтин-Пасс), КНР (Баян-Обо), Бразилии, Австралии.

***Россыпные месторождения*** развиты широко и служат важным источником монацита, ксенотима, фергюсонита. Месторождения обычно комплексные: редкоземельные минералы сопровождаются цирконом, тантало-ниобатами, касситеритом, ильменитом, рутилом.

Промышленно значимыми являются прибрежно-морские (для монацита) и элювиально-делювиальные россыпи. Крупные россыпные месторождения редких земель разрабатываются в КНДР, Индии, Шри-Ланке, Австралии, Мозамбике, Канаде, США.

***Задание 1 Подготовить презентации по редкоземельным элементам.***

**Литература**

|  |
| --- |
| 1 Авдонин, В.В. Геология полезных ископаемых: учебник / В.В. Авдонин, В.И. Старостин. – М.: Академия, 2010. – 384 с. |
| 2 Авдонин, В.С., Бойцов, В.Е. Месторождения металлических полезных ископаемых / В.С. Авдониндр [и др.] – М.: Геоинформмарк, 1998. – 348 с. |
| 3 Высоцкий, Э.А. Генезис месторождений полезных ископаемых: пособие для студентов, обучающихся по спец. 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» / Э. А. Высоцкий. – Минск: БГУ, 2012. – 147 с. |
| 4 Ермолов, В.А. Месторождения полезных ископаемых / под ред. В.А. Ермолова. – М.: МГУ, 2009. – 570 с. |
| 5 Полезные ископаемые Беларуси / под ред. П.З. Хомича. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 528 с. |
| 6 Старостин, В.И., Игнатов, П.А. Геология полезных ископаемых /  В.И. Старостин, П.А. Игнатов. – Москва: МГУ, 1997. – 304 с. |
| 7 Старостин, В.И., Игнатов, П.А. Геология полезных ископаемых /  В.И. Старостин, П.А. Игнатов. – Москва: Академический проект, 2004. – 512 с. |
| 9 Месторождения полезных ископаемых / В. А. Ермолов и др.: Учеб. для вузов. – М.: МГУ, 2001. – 571 с. |

**5 ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ**

**ТЕСТ № 1**

**1 Как называются графические эвтектоидные срастания кварца и полевого шпата?**

1. Пегматит

2. Альбитит

3. Грейзен

4. Березит

5. Листвиниит

**2 К железным рудам относится**

1. магнитный железняк

2. медная руда

3. фосфорит

4. апатит

**3 К горючим полезным ископаемым относится:**

 1. известняк

2. торф

3. гранит

4. мрамор

**4 Ликвационные месторождения образуются при...**

1. реакциями обмена между выделившимися фазами, конвекционными токами в магме

2. делении магмы на рудный и силикатный расплавы с раздельной их кристаллизацией

3. гидротермальных процессах на стадии затвердевании интрузии

**5 Из перечисленных месторождений какое не принадлежит метаморфической группе метаморфогенной серии месторождений?**

1. Бокситов

2. Наждака

3. Графита

4. Мраморов

5. Амфибол-асбеста

**6 Уберите лишнее месторождение, не относящееся к месторождениям каменного угля**

1.Кузбасс

2.Бодайбо

3.Донбасс

4. Тунгусский бассейн

**7 К черным металлам относятся**

1. медь и золото

2. серебро и алюминий

3. уголь и торф

4. чугун и сталь

**8 С какими интрузивными массивами (какого состава) преимущественно связаны пегматиты:**

1. кислого

2. ультраосновного

3. щелочного

4. основного

**9 К какому генетическому классу относятся коренные месторождения алмазов в кимберлитовых трубках?**

1. Раннемагматическому

2. Ликвационному магматическому

3. Регионально метаморфизованному

4. Позднемагматическому

5. Десилицированных пегматитов

**ТЕСТ № 2**

**1 Какой генезис может быть у пегматитов**

1. магматический и метаморфогенный

2. осадочный

3. зоны окисления хромитовых руд

4. ранемагматический

**2 Дайте название определению "породы известково-силикатного состава, образовавшиеся метасоматическим путем в приконтактовой зоне интрузивов среди карбонатных и в меньшей степени силикатных пород" -**

1. грейзен

2. хромит

3. альбитит

4. скарны

**3 Какая текстура характерна для хромитовых руд?**

1. Нодулярная

2. Миндалекаменная

3. Слоистая

4. Массивная

5. Гнейсовая

**4 Выберите продукты окисления медно-никелевых руд**

1. россыпи редкоземельных элементов

2. кварц

3. лимонит, гарниерит

4. полевые шпаты

**5 Какие из драгоценных камней не добываются из пегматитов?**

1. Алмаз

2. Турмалин

3. Топаз

4. Аметист

5. Сапфир

**6 Какой тип месторождений формируется метосоматическим путем в апикальных частях кислых и щелочных интрузий**

1. Ликвационный

2. Альбититовый

3. Грейзеновый

4. Скарновый

**7 Какие месторождения  отличаются общим генетическим признаком которых является возникновение из глубинных горячих минерализованных растворов в результате рудоотложения в дренирующих структурах по ходу движения гидротермального потока**

1. Пегматитовые

2. Раннемагматические

3. Гидротермальные

4. Хромитовые

**Вопросы к экзамену по дисциплине «Полезные ископаемые»**

1 Минеральные соли: общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений.

2 Современные месторождения солей, география месторождений.

3 Минеральные соли: месторождения Беларуси.

4 Апатиты и фосфориты: общие сведения. Применение в промышленности. Месторождения апатитовой формации. Месторождения Беларуси.

5 Месторождения апатит-нефелиновой формации. Месторождения апатит-магнетитовой формации.

6 Осадочные морские биохимические месторождения фосфорита. Осадочные механические месторождения фосфорита.

7 Осадочные континентальные биохимические месторождения фосфорита. Месторождения выветривания фосфатсодержащих пород.

8 Сера: общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений серы.

9 Вулканогенно-гидротермальные месторождения серы; экзогенные месторождения.

10 Бор: общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений.

11 Асбест: общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений.

12 Графит: общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений.

13 Слюды: общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений

14 Барит: общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Географическое положение месторождений. Описание месторождений.

15 Витерит: общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Географическое положение месторождений. Описание месторождений.

16 Магнезит: общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений.

17 Брусит: общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений.

18 Алмазы: общие сведения. Ювелирные алмазы. Технические алмазы. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений.

19 Камнесамоцветное сырье: общие сведения, важнейшие свойства. Классификация камнесамоцветов. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений.

20 Исландский шпат. Общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений

21 Непластичное керамическое сырье: полевые шпаты, высокоглиноземные минералы, волластонит. Общие сведения, применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений

22 Пластичное керамическое сырье: глины и каолины. Общие сведения, применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений.

23 Песок и гравий: общие сведения, применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Месторождения Беларуси.

24 Известняк, мел, доломит, мергель и их разновидности: общие сведения, применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений.

25 Гипс и ангидрит: общие сведения, применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Месторождения Беларуси.

26 Диатомит, трепел, опоки, пуццоланы и трассы: общие сведения, применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений.

27 Естественные строительные материалы: общие сведения. Применение в промышленности. Генетические типы промышленных месторождений. Месторождения и рудопроявления Беларуси.

28 Железо: общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения, эпохи рудообразования.

29 Генетические типы промышленных месторождений железа.

30 Марганец: общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения, эпохи рудообразования.

31 Генетические типы промышленных месторождений марганца. Месторождения и рудопроявления Беларуси.

32 Хром: общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения, эпохи рудообразования.

33 Генетические типы промышленных месторождений хрома: раннемагматические, позднемагматические, россыпные.

34 Титан: общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения, эпохи рудообразования.

35 Генетические типы промышленных месторождений титана.

36 Ванадий: общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения, эпохи рудообразования.

37 Генетические типы промышленных месторождений ванадия: магматические, выветривания, россыпные, осадочные, метаморфогенные. Месторождения и рудопроявления Беларуси.

38 Алюминий: общие сведения. Геохимия, минералогия и металлоге-ния, эпохи рудообразования.

39 Генетические типы промышленных месторождений алюминия: вы-ветривания, осадочные.

40 Магний: общие сведения. Добыча магния из доломита, магнезита, морской воды и рассолов. Месторождения и рудопроявления Беларуси.

41 Литий: общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения, эпохи рудообразования.

42 Генетические типы промышленных месторождений лития:

43 Бериллий: общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения, эпохи рудообразования.

44 Генетические типы промышленных месторождений бериллия. Месторождения и рудопроявления Беларуси.

45 Свинец и цинк: общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения, эпохи рудообразования.

46 Генетические типы промышленных месторождений свинца и цинка. Месторождения и рудопроявления Беларуси.

47 Сурьма: общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения, эпохи рудообразования.

48 Медь: общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения, эпохи рудообразования

49 Генетические типы промышленных месторождений меди.

50 Никель. Общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения, эпохи рудообразования.

51 Генетические типы промышленных месторождений никеля.

52 Олово: общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения, эпохи рудообразования.

53 Генетические типы промышленных месторождений олова

54 Вольфрам: общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения, эпохи рудообразования.

55 Генетические типы промышленных месторождений вольфрама.

56 Молибден: общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения, эпохи рудообразования.

57 Генетические типы промышленных месторождений молибдена.

58 Висмут: общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения, эпохи рудообразования.

59 Генетические типы промышленных месторождений висмута.

60 Кобальт: общие сведения. Генетические типы промышленных месторождений кобальта.

61 Ртуть: общие сведения. Генетические типы промышленных месторождений ртути. Месторождения и рудопроявления Беларуси.

62 Цирконий и цезий: общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения, эпохи рудообразования.

63 Генетические типы промышленных месторождений циркония и цезия.

64 Ниобий и тантал: общие сведения. Геохимия, минералогия металлогения, эпохи рудообразования.

65 Генетические типы промышленных месторождений ниобия и тантала. Месторождения и рудопроявления Беларуси.

66 Золото: общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения, эпохи рудообразования.

67 Генетические типы промышленных месторождений золота.

68 Серебро: общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения, эпохи рудообразования.

69 Генетические типы промышленных месторождений серебра: серебросодержащие, собственно серебряные.

70 Платиноиды: общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения, эпохи рудообразования.

71 Генетические типы промышленных месторождений комплексных платиносодержащих руд. Месторождения и рудопроявления Беларуси.

72 Уран: общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения, эпохи рудообразования.

73 Генетические типы промышленных месторождений урана.

74 Торий: общие сведения. Геохимия, минералогия и металлогения, эпохи рудообразования.

75 Генетические типы промышленных месторождений тория. Месторождения и рудопроявления Беларуси.

76 Рассеянные элементы: скандий, германий, рений, таллий, галлий, кадмий, индий, селен, теллур, рубидий и гафний, геохимия, минералогия и металлогения месторождений рассеянных элементов. Промышленная добыча и использование рассеянных элементов.

77 Геохимия, минералогия и металлогения месторождений редкоземельных элементов: скандий, лантан, церий, самарий и другие.

78 Генетические типы промышленных месторождений редкоземельных элементов. Использование редкоземельных элементов.

Составил

старший преподаватель

кафедры геологии и географии Мележ Т.А.

**7 ЛИТЕРАТУРА**

1 Авдонин, В.В. Геология полезных ископаемых: учебник /   
В.В. Авдонин, В.И. Старостин. – М.: Академия, 2010. – 384 с.

2 Авдонин, В.С., Бойцов, В.Е. Месторождения металлических полезных ископаемых / В.С. Авдониндр [и др.] – М.: Геоинформмарк, 1998. – 348 с.

3 Высоцкий, Э.А. Генезис месторождений полезных ископаемых: пособие для студентов, обучающихся по спец. 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» / Э. А. Высоцкий. – Минск: БГУ, 2012. – 147 с.

4 Еремин, Н.И. Неметаллические полезные ископаемые / Н.И. Еремин. – М.: Изд-во МГУ; ИКЦ «Академкнига», 2007. – 459 с.

5 Исаенко, М.П. Определитель текстур и структур руд: учеб. пособие для вузов / М.П. Исаенко. - М.: Недра, 1983. – 145 с.

6 Курс месторождений твердых полезных ископаемых / под ред. П.М. Татаринова. – Ленинград: Недра, 1975. – 631 с.

7 Полезные ископаемые Беларуси / под ред. П.З. Хомича. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 528 с.

8 Старостин, В.И., Игнатов, П.А. Геология полезных ископаемых / В.И. Старостин, П.А. Игнатов. – Москва: МГУ, 1997. – 304 с.

9 Старостин, В.И., Игнатов, П.А. Геология полезных ископаемых /

В.И. Старостин, П.А. Игнатов. – Москва: Академический проект, 2004. – 512 с.

10 Смирнов, В.М. Геология полезных ископаемых: учеб. пособие для вузов / В.М. Смирнов. – М.: Недра, 1989. – 268 с.

11 Техногенные минеральные ресурсы. – Москва –Алматы, 2003. – 204 с.

12 Бойцов, В.Е. Месторождения благородных, радиоактивных и редких металлов / В.Е. Бойцов [др.]. – М.: ННАПРИ РОДА, 1999. – 220 с.

13 Вахромеев, С.А. Месторождения полезных ископаемых: учеб. пособие для вузов / С. А. Вахромеев. – М.: Госгеолтехиздат, 1961. –263 с.

14 Максимов, М.М. Истоки учения о рудных месторождениях / М.М. Максимов. – М.: Недра, 1973. – 140 с.

15 Савко, А.Д., Шевырев Л.Т. Историко-минерагенический анализ и его практическое значение / А.Д. Савко, Л.Т. Шевырев // Вестник ВГУ. Серия: Геология. – 2014. – № 4 – С. 5-12

16 Овчинников, Л.Н. Образование рудных месторождений / Л.Н. Овчинников. – М.: Недра, 1988. – 286 с.