

**КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И НЕФТЕГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**  
*Кафедра палеонтологии и стратиграфии*

**С.О. ЗОРИНА**

**СТРАТИГРАФИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ  
ИСКОПАЕМЫХ**  
**(Материалы к лекциям. Практические задания)**

**Учебно-методическое пособие**

**Казань – 2017**

**УДК 551.7+550.34.013+518(083.75)**

*Принято на заседании кафедры палеонтологии и стратиграфии  
ИГиНГТ КФУ*

*Протокол № 3 от 02.02.2017 г.*

**Рецензенты:**

кандидат геолого-минералогических наук,  
заведующий кафедрой палеонтологии и стратиграфии **В.В. Силантьев**  
кандидат геолого-минералогических наук,  
ведущий научный сотрудник ФГУП «ЦНИИгеолнеруд» **Н.И. Афанасьева**

**Зорина С.О.**

**Стратиграфия месторождений полезных ископаемых. (Материалы к лекциям. Практические задания) / С.О. Зорина. – Казань, 2017. – 60 с.**

Учебно-методическое пособие по курсу «Стратиграфия месторождений осадочных полезных ископаемых мира» предназначено для лекционных и практических занятий с магистрантами Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета, обучающимися по направлению подготовки «Геология», профилю «Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов». В первой части пособия кратко изложен лекционный и вспомогательный материал, необходимый магистрантам для успешного освоения материала по курсу. Во второй части приведены задания по практической части курса. Основные разделы пособия включают современные методические подходы к изучению осадочных толщ в качестве потенциально продуктивных отложений. Разнообразие методов, применяемых при изучении вещественного состава и оценке качества сырья, рассмотрено на конкретных примерах. Приведены темы рефератов и контрольные вопросы для подготовки к зачету.

© Зорина С.О., 2017

© Казанский университет, 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ.....	3
Часть 1. Материалы к лекциям.....	5
Лекция 1. Общие сведения о месторождениях полезных ископаемых..	5
Лекция 2. Фосфориты. Литолого-стратиграфическое строение фосфоритоносного бассейна Каратау .....	26
Лекция 3. Цеолиты. Цеолиты Закарпатья и цеолитсодержащие породы Русской плиты .....	36
Лекция 4. Искусственный волластонит: возможности синтеза из мезокайнозойских карбонатных и кремнистых пород Русской плиты .....	45
Библиографический список.....	57
Часть 2. Практические задания.....	58
Задание 1-2.....	58
Задание 3-4 .....	58
Задание 5-6.....	58
Задание 7-8.....	58
Вопросы контрольной работы.....	58
Вопросы к зачету.....	59

## ЧАСТЬ 1. МАТЕРИАЛЫ К ЛЕКЦИЯМ

### **Лекция 1. Общие сведения о месторождениях полезных ископаемых**

Геология полезных ископаемых. Полезные ископаемые. Месторождения полезных ископаемых. Минерагения и металлогения. Классификация полезных ископаемых. Неметаллические полезные ископаемые и их классификация. Запасы и прогнозные ресурсы ТПИ и объекты подсчета и оценки. Классификация запасов по экономическому значению и по степени их изученности. Классификация запасов по степени геологической изученности. Классификация прогнозных ресурсов. Классификация месторождений в зависимости от сложности геологического строения. Классификация запасов по требованиям CRISCO и сопоставление с российской классификацией. Классификация прогнозных ресурсов нефти, газа, конденсата. Этапы и стадии геологического изучения недр. Региональное геологическое изучение недр. Виды геологических материалов и методика составления литолого-стратиграфической модели при ГСР

**Геология полезных ископаемых** - прикладной раздел геологии, изучающий месторождения полезных ископаемых, их строение, состав, условия образования и закономерности размещения в недрах Земли. Целью геологии полезных ископаемых является создание научной основы для прогноза распространения, поисков, оценки и разведки месторождений полезных ископаемых.

**Полезные ископаемые** - это природные минеральные образования в земной коре неорганического и органического происхождения, физические свойства и химический состав которых позволяют использовать их в сфере материального производства.

В настоящее время более 200 видов минерального сырья применяется в промышленности и сельском хозяйстве. По своему агрегатному состоянию различают полезные ископаемые твердые (рудные, нерудные, уголь, торф), жидкие (нефть, минерализованные воды) и газообразные (газы природные горючие и инертные).

**Месторождением полезного ископаемого** называется скопление минерального вещества в земной коре, которое в качественном и количественном отношении пригодно для использования в народном хозяйстве.

Месторождения, разработка которых при существующем уровне техники экономически целесообразна, называются **промышленными**; месторождения, разработка которых при тех же условиях невыгодна, назы-

ваются **непромышленными**. По мере развития техники добычи и обогащения полезных ископаемых непромышленные месторождения могут переходить в категорию промышленных.

**Минерагения** - наука о происхождении и прогнозировании металлических полезных ископаемых и неметаллического сырья.

Раздел геологии полезных ископаемых изучающий закономерности размещения рудных месторождений и их связь с процессами осадкообразования, тектоники, магматизма и метаморфизма называется **металлогенией**.

Одна из многочисленных классификаций месторождений полезных ископаемых предусматривает подразделение на следующие четыре группы.

### **Группа I. Горючие ископаемые**

1. Нефть и газ:
  - 1.1. Нефть
  - 1.2. Нефть и газ
  - 1.3. Нефть и газокоденсат
  - 1.4. Конденсат и газоконденсат
  - 1.5. Газ горючий
2. Твердые горючие ископаемые
  - 2.1. Уголь каменный
  - 2.2. Уголь бурый
  - 2.3. Уголь сапропелевый
  - 2.4. Сланец горючий
  - 2.5. Торф

### **Группа II. Металлические ископаемые**

1. Черные металлы
  - 1.1. Железо
  - 1.2. Марганец
  - 1.3. Хром

- 1.4. Титан
- 1.5. Ванадий
2. Цветные металлы
  - 2.1. Медь
  - 2.2. Свинец
  - 2.3. Цинк
  - 2.3. Никель
  - 2.4. Кобальт
  - 2.5. Молибден
  - 2.6. Вольфрам
  - 2.7. Олово
  - 2.8. Алюминий
  - 2.8. Магний
  - 2.9. Ртуть
  - 2.10. Мышьяк
3. Редкие металлы, рассеянные и редкоземельные элементы
  - 3.1. Редкие металлы без подразделения
  - 3.2. Бериллий
  - 3.2. Литий
  - 3.3. Тантал, ниобий
  - 3.4. Кадмий
  - 3.5. Германий
  - 3.6. Цирконий
  - 3.7. Редкие земли (без подразделения)
  - 3.8. Редкие земли – цериевая группа
  - 3.9. Редкие земли – иттриевая группа
4. благородные металлы
  - 4.1. Золото
  - 4.2. Серебро
  - 4.3. Платина и платиноиды

## 5. Радиоактивные элементы

5.1. Уран

5.2. Торий

## **Группа III. Неметаллические ископаемые**

### 1. Оптические материалы.

1.1. Кальцит оптический (исландский шпат)

1.2. Кварц оптический и пьезоэлектрический (в том числе пригодный для плавки)

1.3. Флюорит оптический (в том числе пригодный для плавки)

### 2. Химическое сырье

2.1. Пирит, пирротин

2.2. Флюорит (флюс, химсырье)

2.3. Барит и витерит

2.4. Стронцианит и целестин

2.5. Алунит

2.6. Бораты и боросиликаты

2.7. Ретенит

2.8. Известняк (флюс, химсырье)

### 3. Минеральные удобрения

3.1. Фосфатные

3.1.1. Апатит

3.1.2. Фосфорит

3.1.3. Торфовивианит

3.2. Калиевые (калиевые соли, а также селитры)

3.2.1. Сыннырит

3.3. Карбонатные

3.3.1. Агрокарбонатные руды

### 4. Керамическое и огнеупорное сырье

4.1. Кварц и кварцевые пески, стекольные и керамические

4.2. Полевой шпат

- 4.3. Пегматит керамический
- 4.4. Каолин, глины огнеупорные и керамические
- 4.5. Высокглиноземистые материалы (андалузит, кианит и др.)
- 4.6. Волластонит
- 4.7. Дунит огнеупорный
- 5. Абразивные материалы
  - 5.1. Корунд и наждак
  - 5.2. Гранат
  - 5.3. Пемза
  - 5.4. Камни точильные и полировочные
- 6. Горнотехническое сырье
  - 6.1. Асбест (хризотилловый, амфиболовый)
  - 6.2. Мусковит
  - 6.3. Вермикулит
  - 6.4. Флогопит
  - 6.5. Тальк (тальковый камень)
  - 6.6. Графит
  - 6.7. Магнезит
  - 6.8. Цеолиты
- 7. Драгоценные и поделочные камни
  - 7.1. Алмазы
  - 7.2. Алмазы импактные
  - 7.3. Изумруды, топазы и другие драгоценные камни
  - 7.4. Халцедоны, агаты и другие поделочные и технические камни
  - 7.5. Поделочные костные окаменелости (бивни)
  - 7.6. Поделочная окаменелая древесина
- 8. Строительные материалы
  - 8.1. Магматические породы
    - 8.1.1. Кислые интрузивные породы (гранит и др.)
    - 8.1.2. Средние интрузивные породы (диориты и др.)



8.1.3. Основные и ультраосновные интрузивные породы

8.1.4. Эффузивные породы

8.1.4.1. Кислые и средние

8.1.4.2. Основные

8.1.5. Перлиты

8.1.6. Туфы

8.2. Карбонатные породы

8.2.1. Мраморы

8.2.2. Известняк

8.2.3. Доломит

8.2.4. Мел

8.2.5. Мергель

8.2.6. Туф известковый

8.2.7. Ракушечник (ракушняк)

8.3. Глинистые породы

8.3.1. Глины кирпичные, черепичные и гончарные

8.1.2. Глины для цементного производства

8.1.3. Глины керамзитовые

8.1.4. Глинистые сланцы керамзитовые

8.1.5. Глины керамдоровые

8.1.6. Сланцы кровельные

8.4. Обломочные породы

8.4.1. Скопление валунов

8.4.2. Песчано-гравийный материал

8.4.3. Щебень

8.4.4. Песок строительный

8.4.5. Песчаник

8.5. Кремнистые породы

8.5.1. Опока

9. Прочие ископаемые

- 9.1. Гипс, ангидрит
- 9.2. Целестин
- 9.3. Кварцит
- 9.5. Песок формовочный
- 9.6. Песок стекольный
- 9.7. Диатомит, трепел, опока
- 9.8. Сырье для каменного литья
- 9.9. Глины буровые
- 9.10. Глины отбеливающие, адсорбционные и др. (бентонитовые, глауконитовые и др.)
- 9.11. Глины красочные и другие минеральные краски
- 9.12. Пеликаниты – активные минеральные добавки
- 9.13. Литографический камень
- 9.14. Глиеж, горелые породы
- 9.15. Глауконит
- 9.16. Ракуша кормовая
- 9.17. Агросырье
- 9.18. Сапропель
- 9.19. Озокерит
- 9.20. Асфальтит
- 9.21. Битум
- 9.22. Мумие

#### **Группа IV. Соли**

1. Соли смешанного состава
2. Соли натриевые
3. Соли калиевые (сильвин и др.)
4. Соли магниевые (карналлит, бишофит, и др.)
5. Сульфаты натрия (мирабилит, тенардит и др.)
6. Сода
7. Селитры (калиевые и натриевые)

## 8. Бораты, бромиды, йодиды

**Неметаллические полезные ископаемые** – это обширная группа видов сырья, подразделяющаяся по сферам промышленного применения на следующие крупные группы:

- агрохимическое сырье (калийные соли, апатиты, фосфориты);
- горнохимическое и горнотехническое сырье (барит, натриевые соли, борные руды, каолин, кварцевое сырье, асбест, полевошпатовое сырье, тальк, цеолиты, сепиолиты и др.);
- нерудное металлургическое сырье (магнезит, графит, бентониты);
- минерально-строительное (цементное сырье, стекольные пески, тугоплавкие глины и др.);
- камнесамоцветное сырье (яшма, родонит, агат, оникс, халцедон, чароит, нефрит и др.) и драгоценные камни (алмаз, изумруд, рубин, сапфир).

Раздел геологии полезных ископаемых, посвященный подземным водам, является в то же время частью гидрогеологии.

**Экономическая геология** - дисциплина, рожденная на стыке геологии полезных ископаемых и экономики, занимается стоимостной оценкой месторождений и участков недр. Так как «полезное ископаемое» - это больше экономический термин, чем геологический, часто (особенно в зарубежной литературе) понятия «экономическая геология» и «геология полезных ископаемых» отождествляются.

В соответствии с «Классификацией запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» (утвержденной приказом МПР России от 11.12.2006 N 278), **запасы твердых полезных ископаемых** подсчитываются по результатам геологоразведочных и эксплуатационных работ, выполненных в процессе их изучения и промышленного освоения.

**Прогнозные ресурсы твердых полезных ископаемых** оцениваются по металлогеническим (минерагеническим) зонам, бассейнам, рудным

районам, полям, рудопроявлениям, флангам и глубоким горизонтам месторождений твердых полезных ископаемых.

Качество полезных ископаемых изучается с учетом необходимости их комплексного использования, технологии переработки на основе определенных в установленном порядке требований к качеству полезных ископаемых и технических условий. При этом определяются содержания основных и попутных ценных, токсичных и вредных компонентов, формы их нахождения и особенности распределения в продуктах обогащения и переработки.

**Объектом подсчета запасов** полезных ископаемых является месторождение (часть месторождения) твердых полезных ископаемых. **Объектом оценки прогнозных ресурсов** являются металлогенические (минералогенические) зоны, бассейны, рудные районы, поля, рудопроявления, фланги и глубокие горизонты месторождений, оцененные на основании благоприятных геологических предпосылок, обоснованной аналогии с известными месторождениями, по результатам геологосъемочных, геофизических, геохимических, поисковых и оценочных работ.

**По экономическому значению запасы твердых полезных ископаемых** и содержащихся в них полезных компонентов, подлежащих государственному учету, подразделяются на две основные группы:

- балансовые (экономические);
- забалансовые (потенциально экономические), которые подлежат отдельному подсчету и учету.

К **балансовым** (экономическим) запасам относятся запасы, разработка которых на момент оценки согласно технико-экономическим расчетам экономически эффективна в условиях конкурентного рынка при использовании техники, технологии добычи и переработки минерального сырья, обеспечивающих соблюдение требований по рациональному использованию недр и охране окружающей среды.

К **забалансовым** (потенциально экономическим) относятся:

- запасы, разработка которых на момент оценки согласно технико-экономическим расчетам экономически не эффективна (убыточна);

- запасы, отвечающие требованиям, предъявляемым к балансовым запасам, но использование которых на момент оценки невозможно в связи с расположением в пределах водоохраных зон, населенных пунктов, сооружений, сельскохозяйственных объектов, заповедников, памятников природы, истории и культуры.

**Запасы полезных ископаемых по степени геологической изученности подразделяются** на категории: А, В, С1, С2.

**Запасы категории А** выделяются на участках детализации разведываемых и разрабатываемых месторождений 1-й группы сложности геологического строения и должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- установлены размеры, форма и условия залегания тел полезного ископаемого, изучены характер и закономерности изменчивости их морфологии и внутреннего строения, выделены и оконтурены безрудные и некондиционные участки внутри тел полезного ископаемого, при наличии разрывных нарушений установлены их положение и амплитуда смещения;

- определены природные разновидности, выделены и оконтурены промышленные (технологические) типы и сорта полезного ископаемого, установлены их состав и свойства; качество выделенных промышленных (технологических) типов и сортов полезного ископаемого охарактеризовано по всем предусмотренным промышленностью параметрам;

- изучены распределение и формы нахождения ценных и вредных компонентов в минералах и продуктах переработки и переделов полезного ископаемого;

- контур запасов полезного ископаемого определен в соответствии с требованиями кондиций по скважинам и горным выработкам по результатам их детального опробования.

**Запасы категории В** выделяются на участках детализации разведываемых и разрабатываемых месторождений 1-й и 2-й групп сложности геологического строения и должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- установлены размеры, основные особенности и изменчивость формы и внутреннего строения, условия залегания тел полезного ископаемого, пространственное размещение внутренних безрудных и некондиционных участков;

- определены природные разновидности, выделены и при возможности оконтурены промышленные (технологические) типы полезного ископаемого;

- определены минеральные формы нахождения полезных и вредных компонентов;

- контур запасов полезного ископаемого определен в соответствии с требованиями кондиций по результатам опробования скважин и горных выработок.

**Запасы категории С1** составляют основную часть запасов разведываемых и разрабатываемых месторождений 1-й, 2-й и 3-й групп сложности геологического строения, а также могут выделяться на участках детализации месторождений 4-й группы сложности и должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- выяснены размеры и характерные формы тел полезного ископаемого, основные особенности условий их залегания и внутреннего строения, оценена изменчивость тел полезного ископаемого;

- определены природные разновидности и промышленные (технологические) типы и сорта полезного ископаемого, установлены общие закономерности их пространственного распространения; качество типов и сортов охарактеризовано по всем предусмотренным кондициями параметрам;

- контур запасов полезного ископаемого определен в соответствии с требованиями кондиций по результатам опробования скважин и горных

выработок, с учетом данных геофизических и геохимических исследований.

**Запасы категории С2** должны удовлетворять следующим требованиям:

- размеры, форма, внутреннее строение тел полезного ископаемого и условия их залегания оценены по геологическим, геофизическим и геохимическим данным и подтверждены вскрытием полезного ископаемого ограниченным количеством скважин и горных выработок;

- контур запасов полезного ископаемого определен в соответствии с требованиями кондиций на основании опробования ограниченного количества скважин, горных выработок, естественных обнажений или по их совокупности, с учетом данных геофизических и геохимических исследований и геологических построений.

Необходимая и достаточная степень разведанности запасов твердых полезных ископаемых определяется **в зависимости от сложности геологического строения месторождений**, которые подразделяются по данному признаку на следующие группы:

1-я группа. Месторождения (участки недр) простого геологического строения с крупными и весьма крупными, реже средними по размерам телами полезных ископаемых с ненарушенным или слабонарушенным залеганием, характеризующимися устойчивыми мощностью и внутренним строением, выдержанным качеством полезного ископаемого, равномерным распределением основных ценных компонентов. Особенности строения месторождений (участков недр) определяют возможность выявления в процессе разведки запасов категорий А, В, С1 и С2.

2-я группа. Месторождения (участки недр) сложного геологического строения с крупными и средними по размерам телами с нарушенным залеганием, характеризующимися неустойчивыми мощностью и внутренним строением, либо невыдержанным качеством полезного ископаемого и неравномерным распределением основных ценных компонентов. Ко второй

группе относятся также месторождения углей, ископаемых солей и других полезных ископаемых простого геологического строения, но со сложными или очень сложными горно-геологическими условиями разработки. Особенности строения месторождений (участков недр) определяют возможность выявления в процессе разведки запасов категорий В, С1 и С2.

3-я группа. Месторождения (участки недр) очень сложного геологического строения со средними и мелкими по размерам телами полезных ископаемых с интенсивно нарушенным залеганием, характеризующимися очень изменчивыми мощностью и внутренним строением либо значительно невыдержанным качеством полезного ископаемого и очень неравномерным распределением основных ценных компонентов. Особенности строения месторождений (участков недр) определяют возможность выявления в процессе разведки запасов категорий С1 и С2.

4-я группа. Месторождения (участки недр) с мелкими, реже средними по размерам телами с чрезвычайно нарушенным залеганием либо характеризующиеся резкой изменчивостью мощности и внутреннего строения, крайне неравномерным качеством полезного ископаемого и прерывистым гнездовым распределением основных ценных компонентов. Особенности строения месторождений (участков недр) определяют возможность выявления в процессе разведки запасов категорий С2.

**Прогнозные ресурсы** участков недр по степени их обоснованности подразделяются на три категории: Р1, Р2 и Р3.

**Ресурсы категории Р<sub>3</sub>** – это самая низкая степень изученности (опоискованности), ресурсы устанавливаются аналитически при минерагеническом анализе на основании геологических предпосылок и признаков при ГСР масштабов 1:500000, 1:1000000 и мельче без вскрытия и опробования полезного ископаемого.

**Ресурсы категории Р<sub>2</sub>** – средняя степень изученности опойскованности, ресурсы устанавливаются по единичным рудопроявлениям, скважинам и горным выработкам при ГСР масштабов 1:200000-1:50000.



**Ресурсы категории  $P_1$**  – самая высокая степень опосредованности отвечает запасам по разреженной в 2-3 раза сети категории  $C_2$ .

Количественно оцененные ресурсы служат основанием для постановки геологического картографирования масштаба 1:50000 и поисковых работ.

Количественная и качественная оценка прогнозных ресурсов производится до глубин, доступных для эксплуатации при современном и возможном в ближайшей перспективе уровне техники и технологии разработки месторождений, на основе ориентировочных технико-экономических расчетов.

**Месторождения полезных ископаемых по степени их изученности подразделяются** на разведанные и оцененные.

К **разведанным** относятся месторождения (участки недр), запасы которых, их качество, технологические свойства, гидрогеологические и горнотехнические условия разработки изучены по скважинам и горным выработкам с полнотой, достаточной для технико-экономического обоснования их вовлечения в промышленное освоение в установленном порядке.

К **оцененным** относятся месторождения, запасы которых, их качество, технологические свойства, гидрогеологические и горнотехнические условия разработки изучены в степени, позволяющей обосновать целесообразность дальнейшей разведки и разработки.

**Геологической службой США запасы полезных ископаемых делятся на три категории:** измеренные (measured), вычисленные (indicated) и предполагаемые (inferred).

**Измеренные запасы** полезного ископаемого (measured) – это контурные в плане и разрезе запасы по горным выработкам и скважинам.

**Вычисленные запасы** (indicated) – это подсчитанные запасы в контуре, а так же за контуром с учетом экстраполяции.

**Предполагаемые запасы** (inferred) – это запасы, оцененные по общим геологическим данным.

В российской классификации все категории запасов являются и измеренными и вычисленными, ведь для того, что бы подсчитать запасы их необходимо измерить (рис. 1). Предварительные запасы (inferred) могут отвечать запасам категории  $C_2$  или прогнозным ресурсам категории  $P_1$ .

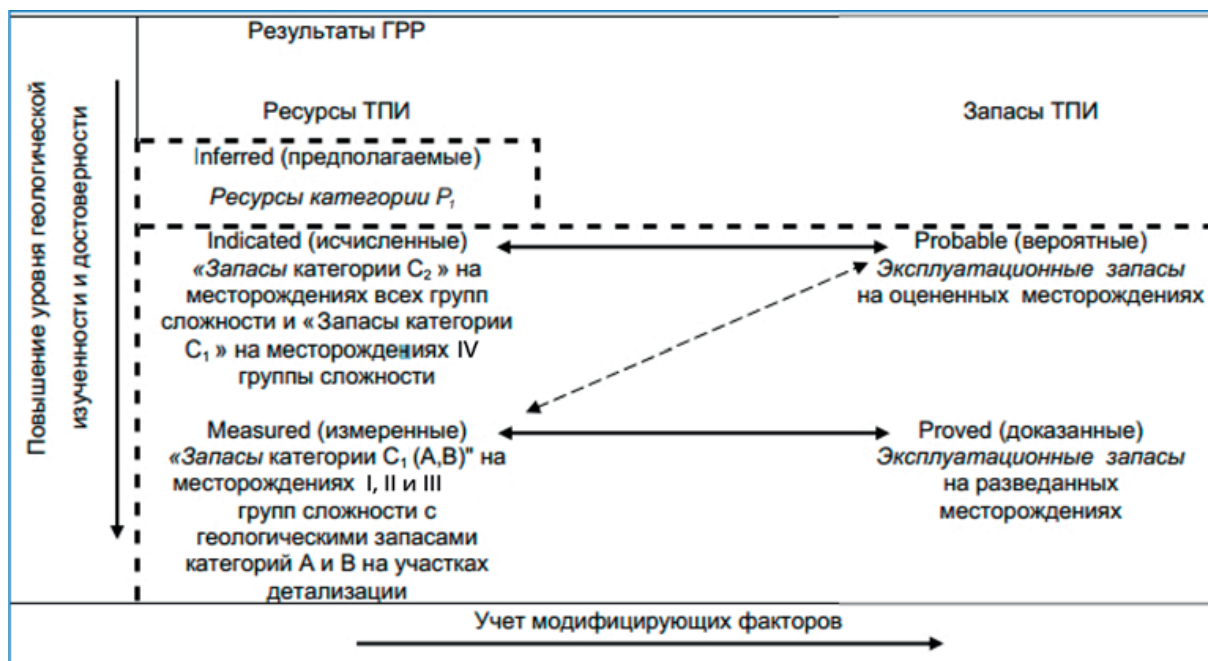


Рис. 1. Схема сопоставления российской классификации запасов и ресурсов с международной классификацией по требованиям CRISCO.

Сходимость российской классификации запасов и ресурсов с международной классификацией, принятой CRIRSCO, по важнейшим критериям приведена в таблице 1 (Максимова, 2016). CRIRSCO - Combined Reserves International Reporting Standards Committee (международный комитет по стандартизации отчетов о ресурсах и запасах), созданный в 1994 году. Основная задача CRIRSCO - создание единого глобального кодекса, а также унификация и стандартизация терминов и понятий, используемых для создания характеристик и отчетности месторождений и горнодобывающих объектов.

**Прогнозные ресурсы нефти, газа и конденсата по степени обоснованности (опоскованности)** подразделяются на две категории:  $D_1$  и  $D_2$ .

**Прогнозные ресурсы категории  $D_1$**  оцениваются в пределах регио-

нальных структур с доказанной промышленной нефтегазоносностью. Количественная оценка ресурсов нефти и газа производится по результатам региональных исследований и по аналогии с изученными месторождениями в пределах оцениваемого региона.

Таблица 1

**Критерии Российской классификации запасов ТПИ и международной системы CRIRSCO**

<b>Критерии</b>	<b>Действующая классификация</b>	<b>CRIRSCO</b>
Взаимоотношения государства и недропользователя	Собственник недр — государство и недропользователь — собственник извлекаемых из недр запасов — находятся в противоречии	Не учитывает
Экономическая оценка	Оценка запасов/ресурсов ПИ по их экономическому значению	Реализуется оценка извлекаемых запасов на основе технологических проектов на разработку
Основные принципы категоризации	По степени геологической изученности в зависимости от сложности геологического строения месторождений и подготовленности их к промышленному освоению	По степени геологической изученности (вероятности подтверждения) и подготовленности их к промышленному освоению
Наличие единых принципов государственного учета	Количество и качество запасов, их экономическая значимость подтверждены государственной экспертизой	Количество и качество запасов, их экономическая значимость подтверждены аудитом Не оцениваются нерентабельные запасы
Обеспечение объективного государственного планирования (уровень добычи и потребление)	Отсутствует государственный учет извлекаемых запасов. Объективное государственное планирование затруднено	Выделена категория извлекаемых запасов Не оцениваются нерентабельные запасы
Основа для привлечения инвестиций, капитализации запасов	Не применяется на международных рынках	Ориентирована на привлечение инвестиций, защиты инвестора и получения максимальной прибыли недропользователя

**Прогнозные ресурсы категории D<sub>2</sub>** оцениваются в пределах крупных региональных структур, промышленная нефтегазоносность которых ещё не доказана. Количественная оценка ресурсов нефти и газа этой категории производится по предположительным параметрам на основе общих геологических представлений и по аналогии с другими более изученными регионами, где имеются разведанные месторождения нефти и газа.

В соответствии с утвержденным «Положением о порядке проведения ГРП по этапам и стадиям», зависимости от цели **процесс геологического**

**изучения недр подразделяется на 3 этапа и 5 стадий:**

**Этап I.** Работы общегеологического и минерагенического назначения

**Стадия 1.** Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых. Масштаб работ 1:1000000-200000. Результат: прогнозные ресурсы категории  $P_3$ .

**Этап II.** Поиски и оценка месторождений

**Стадия 2.** Поисковые работы. Масштаб 1:100000-50000. Результат: прогнозные ресурсы категории  $P_2$ - $P_1$ .

**Стадия 3.** Оценочные работы (Предварительная разведка, ранее). Масштаб 1:10000-1000. Результат: запасы категории  $C_2$  с детализацией по категории  $C_1$ .

**Этап III.** Разведка и освоение месторождений

**Стадия 4.** Разведка месторождения (Детальная разведка, ранее). Масштаб 1:5000-1000. Результат: запасы категорий  $C_1$  и  $C_2$  с детализацией до категории А и В.

**Стадия 5.** Эксплуатационная разведка. Масштаб 1:5000-1000. Результат: прирост запасов на флангах месторождения, уточнение запасов.

Основные работы по стратиграфическому изучению перспективного объекта проводятся на этапе регионального изучения недр, т.е. при геологической съемке.

Схема целей, видов работ и конечных результатов на этапе регионального изучения недр приведена в таблице 2.

В рамках подготовительных работ при геологической съемке составляется **опорная геологическая легенда**, которая является основным документом, включающим обобщенную информацию о литолого-стратиграфических и петрографических подразделениях района (серий, свит, комплексов), их возрастной принадлежности и вещественном составе.

Основой для составления опорных легенд являются результаты всех видов геологоразведочных работ, проведенных на территории района.

Таблица 2

Виды работ по геологическому изучению недр, предусмотренные на этапе 1, стадии 1.

Этап, стадия	Объект изучения	Цель работ, вид работ	Основной конечный результат
Этап I. Работы общегеологического и минерагенического назначения. Стадия 1. Региональное геологическое изучение недр	Территория РФ, ее крупные геолого-структурные, административные, экономические, горнорудные и нефтегазоносные регионы, шельф, глубинные части земной коры, районы с напряженной экологической обстановкой, районы интенсивного промышленного и гражданского строительства, мелиоративных и природоохранных работ и др.	<b>Цель:</b> Создание фундаментальной многоцелевой геологической основы прогнозирования полезных ископаемых, обеспечение различных отраслей промышленности и сельского хозяйства систематизированной геологической информацией для решения вопросов в области ГРП, горного дела, мелиорации, строительства, обороны, экологии и т.п. <b>Виды работ:</b> Проводится комплекс геологических, геофизических, гидрогеологических, инженерно-геологических, эколого-геологических исследований, производится бурение опорных скважин, выполняется мониторинг геологической среды и работы по прогнозу землетрясений.	Комплекты обязательных и специальных геологических карт различного назначения масштабов 1:1000000, 1:200000 и 1:50000; сводные и обзорные карты геологического содержания масштабов 1:1500000 и мельче, комплект карт, схем и разрезов глубинного строения недр РФ и ее регионов; комплексная оценка минерагенического потенциала изученных территорий с выделением перспективных рудных районов и узлов, зон, угленосных бассейнов; определение прогнозных ресурсов категорий Р <sub>3</sub> и Р <sub>2</sub> ; оценка состояния геологической среды и прогноз ее изменения

Обязательно использование унифицированных и корреляционных (в случае их отсутствия - рабочих) стратиграфических схем, принятых региональными межведомственными совещаниями и утвержденных Межведомственным стратиграфическим комитетом (МСК).

В процессе ГСР в рабочую опорную легенду вносятся необходимые изменения, осуществляется детализация осадочных, магматических, метаморфических и других подразделений. При установлении новых стратиграфических подразделений следует выполнять требования «Стратиграфического кодекса России».

Согласно Инструкции по организации..., 1986, при ГСР **изучение основных разрезов** в естественных и искусственных обнажениях и по керну должно проводиться комплексно с применением геологических, аэрокосмических, геофизических, геохимических и других методов. При изучении разрезов особое внимание обращается на особенности вещественного состава, отбор макро- и микропалеонтологических проб для уточнения возрастной принадлежности стратонов, а также на такие эле-

менты их геологического строения, которые контролируют образование или размещение полезных ископаемых.

На **опорных участках** изучаются разрезы стратиграфических образований, взаимоотношения между геологическими подразделениями и структурами. При этом выясняются минерагенические факторы и перспективы в отношении полезных ископаемых, производится отбор образцов и проб, необходимых для литологических, геохимических, геофизических, палеонтологических, петрографических и других исследований.

При ГСР устанавливаются **стратиграфические факторы** – геологические формации, свиты, подсвиты, пачки, толщи, горизонты и отдельные пласты (слои) осадочных и стратифицированных метаморфических образований определенного возраста, в которых локализуются или могут локализоваться залежи полезных ископаемых (угли, нерудное минеральное сырье, битуминозные породы, медные руды и т. п.).

Выявляются также пространственные и временные соотношения геологических тел разного генезиса и состава (формации) и процессов, создающих благоприятные условия для образования месторождений полезных ископаемых.

Таким образом, в процессе ГСР создается база знаний и литолого-стратиграфическая модель перспективного объекта (площади) (рис. 2) и даются рекомендации по его дальнейшему изучению.

Система	Отдел	Литология	Тектоно-эвстатические циклиты	Специализация тектоно-эвстатических циклитов на твердые полезные ископаемые	
Палеогеновая	Палеоцен		Танетский	Ороча - адсорбционное сырье многоцелевого назначения, гидравлическая добавка при производстве цемента	
	Палеоцен		Даний-зеландский	Диатомит - адсорбент и фильтр в текстильной, нефтехимической, пищевой промышленности; сырье для жидкого стекла; тепло- и звукоизоляционных материалов	
	Верхний	Мастрихтский		Кампан-маастрихтский	Мел для производства цемента, бумаги, как фильтр, пигмент и др.
		Кампанский		Коньяк-сантонский	Мергели, опоки, глины, трепелы - цеолит-содержащие многоцелевого назначения
		Сантонский		Туронский	Мел для производства цемента
		Коньяк-сантонский		Сенomanский	Фосфориты, глауконит-кварцевые пески
		Туронский		Альбский	Фосфориты и глауконит-кварцевые пески Глины цеолитсодержащие многоцелевого назначения; туоплавные, огнестойкие, для производства керамзитового грануля, керамики, буровых растворов, сорбентов
	Сеноманский		Альбский	Фосфориты и глауконит-кварцевые пески	
	Нижний	Альбский		Аптский	Глины многоцелевого назначения: для производства керамзитового грануля, цемента и как формовочные в литейном производстве
		Аптский		Готерив-аптский	Глины многоцелевого назначения: для производства керамзитового грануля, цемента и как формовочные в литейном производстве
		Барремский		Валанжинский	Фосфориты и кварц-глауконитовые пески
		Готеривский		Окфорд-волжский	Фосфориты и кварц-глауконитовые пески Горючие сланцы
Валанжинский			Байос-келловейский	Глины светложелтые и пригодные для производства буровых растворов	
Юрская	Верхний	Волжский	Окфорд-волжский	Глины светложелтые и пригодные для производства буровых растворов	
	Верхний	Киммериджский	Окфорд-волжский	Глины светложелтые и пригодные для производства буровых растворов	
	Средний	Келловейский	Байос-келловейский	Глины голубоватые, огнеупорные, керамзитовые	
	Средний	Байосский	Байос-келловейский	Россыпейпроявления титанциркониевых минералов	

Рис. 2. Литолого-стратиграфическая модель размещения среднеюрских-палеоценовых полезных ископаемых востока Русской плиты.

### Контрольные вопросы

1. Геология полезных ископаемых
2. Месторождения полезных ископаемых
3. Минерагения и металлогения
4. Классификация полезных ископаемых

5. Неметаллические полезные ископаемые и их классификация
6. Запасы и прогнозные ресурсы ТПИ и объекты подсчета и оценки
7. Классификация запасов по экономическому значению и по степени их изученности
8. Классификация запасов по степени геологической изученности
9. Классификация прогнозных ресурсов
10. Классификация месторождений в зависимости от сложности геологического строения
11. Классификация запасов по требованиям CRISCO и сопоставление с российской классификацией
12. Классификация прогнозных ресурсов нефти, газа, конденсата
13. Этапы и стадии геологического изучения недр
14. Региональное геологическое изучение недр
15. Виды геологических материалов и методика составления литолого-стратиграфической модели при ГСР



## **Лекция 2. Фосфориты. Литолого-стратиграфическое строение фосфоритоносного бассейна Каратау**

Общая характеристика месторождений фосфоритов. Типизация фосфоритовых руд. Микрозернистые, зернистые, желваковые руды, их генезис и стадийность образования фосфоритов. Ракушечные, галечниковые, рыхлые, каменистые фосфориты, их генезис. Общая характеристика Каратауского бассейна микрозернистых фосфоритов. Стратиграфия Каратауского бассейна. Стратиграфия и фосфатные руды месторождения Джанатас.

**Общая характеристика месторождений фосфоритов.** Согласно Н.И. Еремину (2007), подавляющее большинство фосфоритов являются продуктом литогенеза морских осадков, сформировавшихся химическим, биохимическим и механическим путем. Резко подчиненную роль играют остаточные и инфильтрационные образования в корях выветривания. Важнейшими факторами образования и нахождения фосфоритов являются тесно связанные климатические, палеогеографические и фациально-литологические условия. Палеогеографические реконструкции показывают, что крупнейшие скопления происходили на океанических шельфах в условиях мощного апвеллинга, что характерно для экваториального пояса, ограниченного на севере и юге широтами почти 50°.

Среди промышленных скоплений (залежей) фосфоритов различают **микрозернистые, зернистые, желваковые, ракушечные, галечниковые, а также рыхлые и каменистые** в корях выветривания, связанные с определенными формациями горных пород. В мировом балансе запасов фосфоритов резко преобладают зернистые руды (свыше 60%), доля микрозернистых руд составляет около 30%, а желваковых - около 7%.

**Микрозернистые руды** состоят из мельчайших (0,01-0,1 мм) фосфатных зерен - оолитов, сцементированных фосфатно-карбонатным или фосфатно-кремнистым микрокристаллическим веществом. Главный фосфатный минерал - франколит, помимо которого, как в оолитах, так и в цементе фиксируются кварц, халцедон, кальцит, доломит, гидрослюды и другие минералы. Содержания оксида фосфора  $P_2O_5$  21-28%. Макроскопически эти руды отличаются разнообразием, напоминая по своему облику окремнелые известняки, доломиты, яшмы, кремни и другие породы. Такие фосфориты характерны

для древних фосфоритоносных бассейнов (Саянский в России, Каратауский в южном Казахстане, Фосфория в США, Джорджина в Австралии и другие) в полях развития кремнистой и кремнисто-карбонатной осадочных формаций.

**Зернистые руды** сложены округлыми фосфатными зернами (пеллетами, оолитами и пр.) и фосфатными органогенными обломками размером от 0,1 до 10 мм, цементированными скрытокристаллическими фосфатами (франколитом), кварцем, халцедоном, кальцитом и другими минералами. Содержание  $P_2O_5$  23-32%. Нередко в этих рудах в качестве попутных компонентов присутствуют уран и ванадий. Внешне такие фосфориты напоминают разнозернистые светлоокрашенные песчаники. Наиболее широко они развиты в крупнейшей Североафриканской провинции, входя в состав верхнемеловых-палеогеновых карбонатных и терригенно-карбонатных формаций. В конце минувшего столетия такие фосфориты были найдены в Центрально-Кызылкумском районе Узбекистана.

**Желваковые фосфориты** состоят из конкреций, стяжений фосфатного вещества, фосфатизированных органических остатков размером 0,5-5 см, иногда до 15 см. Вмещающий материал - глауконит-кварцевые пески, глины, аргиллиты. Иногда такие желваки-конкреции срастаются, образуя фосфоритную плиту. По составу нефосфатных примесей выделяют глинистые и песчаные (кварцевые, кварц-глауконитовые) желваки. Фосфатный материал - курскиит. Содержание  $P_2O_5$  в исходной руде 8-14%, в первичном концентрате (желваки) - 16-22%. Это платформенные образования, связанные с терригенной глауконитовой формацией. Наиболее широко они развиты среди верхнеюрско-нижнемеловых осадочных толщ Восточно-Европейской платформы (Вятско-Камское, Егорьевское и другие месторождения) (рис. 3).

Образование этих трех главнейших типов фосфоритов происходило стадийно. Широкое проявление апвеллинга способствовало привносу концентрированных масс растворенного в морской воде фосфора в прибрежные зоны. В стадию седиментогенеза при массовом осаждении фосфатов образу-

ются значительные скопления слабо раскристаллизованных фосфатных минералов.

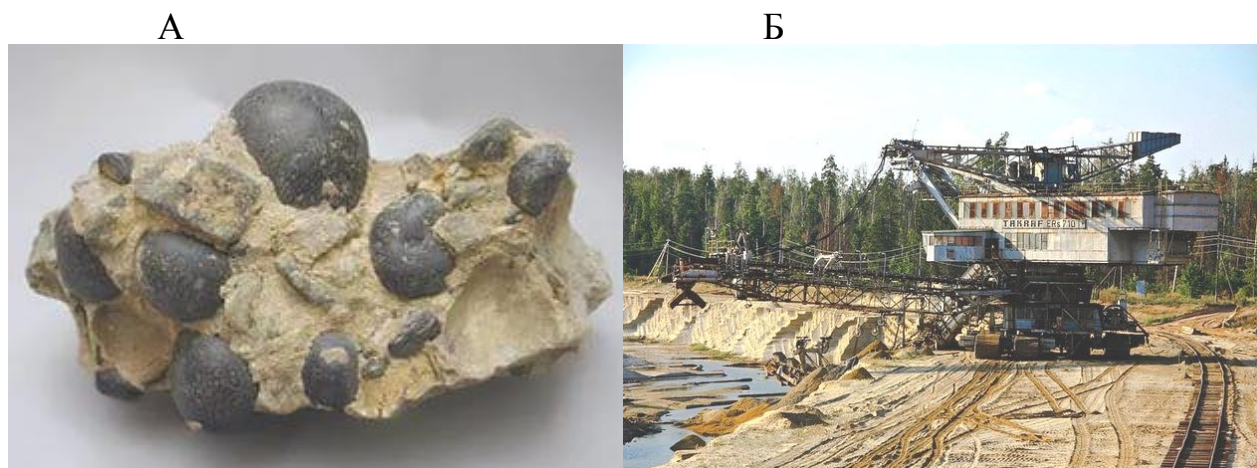


Рис. 3. А – желваковые фосфориты; Б – карьер по добыче фосфоритов (Брянская область).

При диагенезе этих осадков происходит интенсивное перераспределение фосфатного вещества с образованием микроконкреций, линз, слойков. Многократные донные перемывы осадков на различной стадии их литификации приводят к сгуживанию микроконкреций в конкреции и фосфоритные пласты. В зависимости от интенсивности образования конкреций, их последующего перемыва, переотложения и сгуживания образовались микрозернистые, зернистые и желваковые фосфориты.

В специфических гидродинамических и палеогеографических условиях происходило накопление фосфатизированных детритуса и раковин брахиопод в кварцевом песке с образованием **ракушечных фосфоритов**. Они характеризуются низким содержанием  $P_2O_5$ , однако легко обогащаются флотацией с получением концентрата ( $P_2O_5$  до 32%). Такие фосфориты широко развиты в Прибалтике (месторождения Кингиссепское в Ленинградской области, Раквере в Эстонии и др.).

Особо выделяются богатые **галечниковые фосфориты**. Они сложены окатанной галькой и гравием песчано-фосфатного вещества и фосфатизированных окаменелостей. Содержание  $P_2O_5$  в таких рудах может достигать 32-33%. Их образование связывают с разрушением и переотложением зерни-

стых фосфоритов в озерных пресноводных бассейнах. Классическим районом развития галечниковых фосфоритов является Центральная Флорида в США.

В гипергенных условиях при разрушении, растворении и выносе нефосфатных минералов происходит вторичное обогащение фосфоритов с образованием их **рыхлых (остаточных) разновидностей**, а при растворении и переотложении фосфатного вещества появляются **каменистые (инфильтрационные и метасоматические) разновидности**. Каменистые фосфориты - твердые и крепкие, внешне напоминают яшму, известняк, кремь; они залегают в виде обломков среди песчано-щебенистых пестроокрашенных рыхлых фосфоритов. Такие руды содержат 10-20%  $P_2O_5$ , образуя площадные, линейные и карстовые залежи в приповерхностных частях фосфоритсодержащих карбонатных толщ. Промышленные скопления рыхлых и каменистых фосфоритов имеются в США (Флорида), России (Ашинское месторождение на Урале) и в других странах.

Стратиграфически месторождения фосфоритов всех выделенных - типов распределены неравномерно; максимумы фосфоритообразования приходятся на поздний докембрий-кембрий, пермь, поздний мел-палеоген и неоген. По В.Н.Холодову, периоды максимального фосфогенеза возникают в результате эрозии и выветривания магматогенных скоплений апатитов на суше и усиленного поступления фосфора в смежные палеоморя. Ясно проявленная эволюция фосфоритообразования выражается в смене микрозернистых фосфоритов (докембрий-палеозой) зернистыми и желваковыми (мезозой-кайнозой).

#### **Каратауский бассейн микрозернистых фосфоритов, Казахстан.**

Один из крупнейших в мире, Каратауский бассейн микрозернистых фосфоритов расположен на северо-восточных отрогах хребта Малый Каратау в Южном Казахстане. Бассейн представляет собой полосу шириной до 20-25 км, вытянутую в северо-западном направлении на 120 км. В нем известно несколько десятков месторождений микрозернистых фосфоритов, крупнейши-

ми из которых являются Чулактау, Аксай, Джанатас, Коксу, Кокджон (рис. 4).

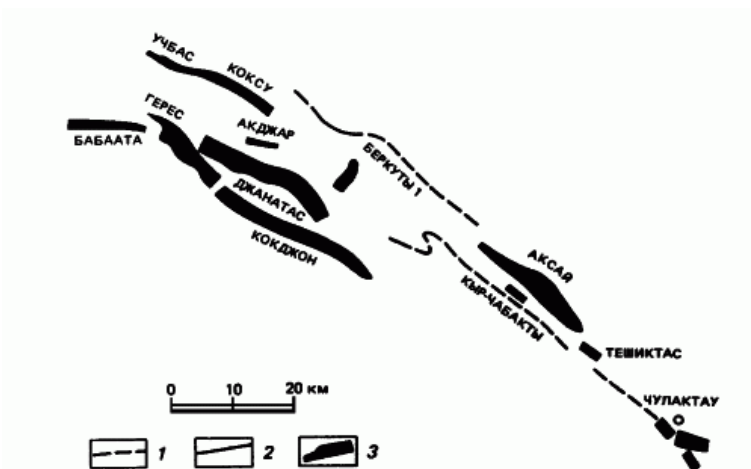
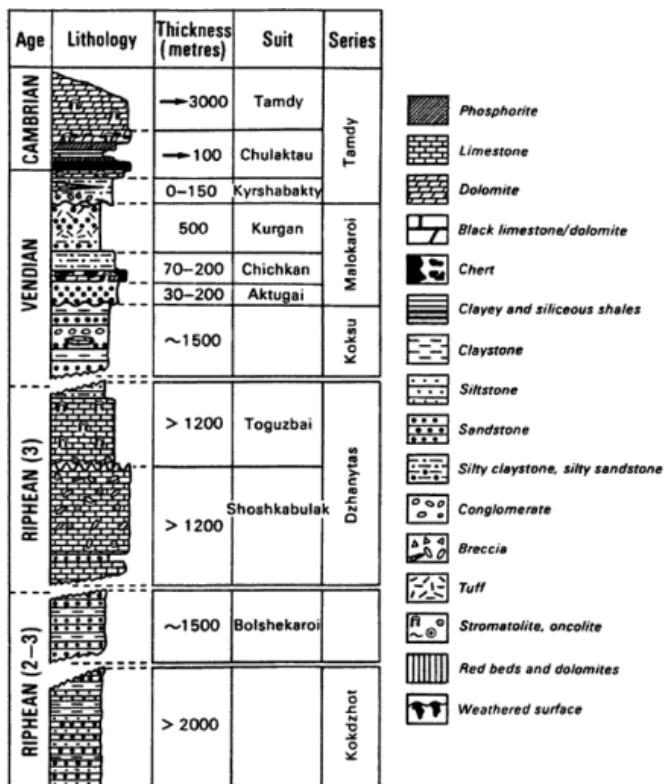


Рис. 4. Схема размещения выходов фосфоритового пласта в хр. Мал. Каратау (по Г.И.Бушинскому). Мощность фосфоритового пласта с содержанием  $P_2O_5$  выше 25 % (м): 1 - до 1; 2 - 1-5; 3 - более 5.

**В строении бассейна** принимают участие палеозойские и кайнозойские осадочные образования, залегающие на мощной докембрийской терригенной толще с подчиненным количеством карбонатных и вулканогенных пород. Наиболее древними (протерозойскими) образованиями являются метаморфические кварц-хлоритовые и тальк-хлорит-серицитовые сланцы с



прослоями рассланцованных туфогенных песчаников и сланцев, сменяющихся вверх по разрезу терригенной толщей песчаников, сланцев и конгломератов, содержащей в своей верхней части маломощные пласты фосфоритов и рассеянные обломочные зерна фторкарбоната-патита (рис. 5).

Рис. 5. Сводный стратиграфический разрез Караусского бассейна (Eganov et al., 2005).

Трансгрессивно, с угловым несогласием протерозойские образования

Devonian and Carboniferous		
----- Unconformity -----		
Cambro-Ordovician	Tamdy Series	
	Shabakty Carbonate Suite	
	Aktau Subsuite (700 m)	
	Karashat Subsuite (5-700 m)	
	Bugul Subsuite (300 m)	
	Dzhilan Subsuite* (200-250 m)	
Chulaktau Suite* (up to 70 m)		
Kyrshabakty Suite (0-150 m)		
----- Unconformity -----		
Vendian	Malokaroi Series (500 m)	
	Chichkan Suite (200 m)	
	Aktugai Suite (200 m)	
	Koksu Series (1500 m)	
----- Unconformity -----		
Riphean	Dzhanytas Series	
	Toguzbai Suite (1200 m)	
	----- Unconformity -----	
	Shoshkabulak Suite (1200 m)	
	Bolshekaroi Series (1500 m)	
	Kokdzhot Series (2000 m)	
Upper Terrigenous Suite		
Lower Terrigenous Suite		

\*Phosphatic portions of the sequence.

перекрыты нижнепалеозойскими (нижний кембрий - средний ордовик) отложениями, подразделяемыми на продуктивную кремнисто-карбонатную **чулактаускую** и перекрывающую ее карбонатную **шабактинскую** свиты (рис. 6).

Рис. 6. Генерализованная стратиграфическая схемы Каратауского бассейна (Eganov et al., 2005)

Породы этих свит смяты в складки; пласты имеют как правило моноклиналиное залегание, падая на северо-восток под углами от 30-35° до 50-60°. В юго-восточной части бассейна они поставлены вертикально и даже отмечаются опрокинутые залегания. Породы нарушены многочисленными продольными, поперечными и диагональными разрывными нарушениями с различной амплитудой смещения крыльев (рис. 7).

На размытой поверхности нижнепалеозойских толщ в пределах бассейна с угловым и азимутальным несогласием залегают верхнедевонские, нижнекаменноугольные, палеогеновые и четвертичные образования, представленные песчаниками, аргиллитами, известняками, галечниками и песками.

В юго-восточной части бассейна присутствуют тела позднеордовикских гранитоидов, с которыми связан локальный метаморфизм фосфатных и карбонатно-кремнистых нижнепалеозойских толщ.

Продуктивная кремнисто-карбонатная чулактауская свита, мощностью 50-100 м, подразделяется на четыре горизонта: нижних доломитов, кремневый, продуктивный и железистых доломитов (или железо-марганцевый).

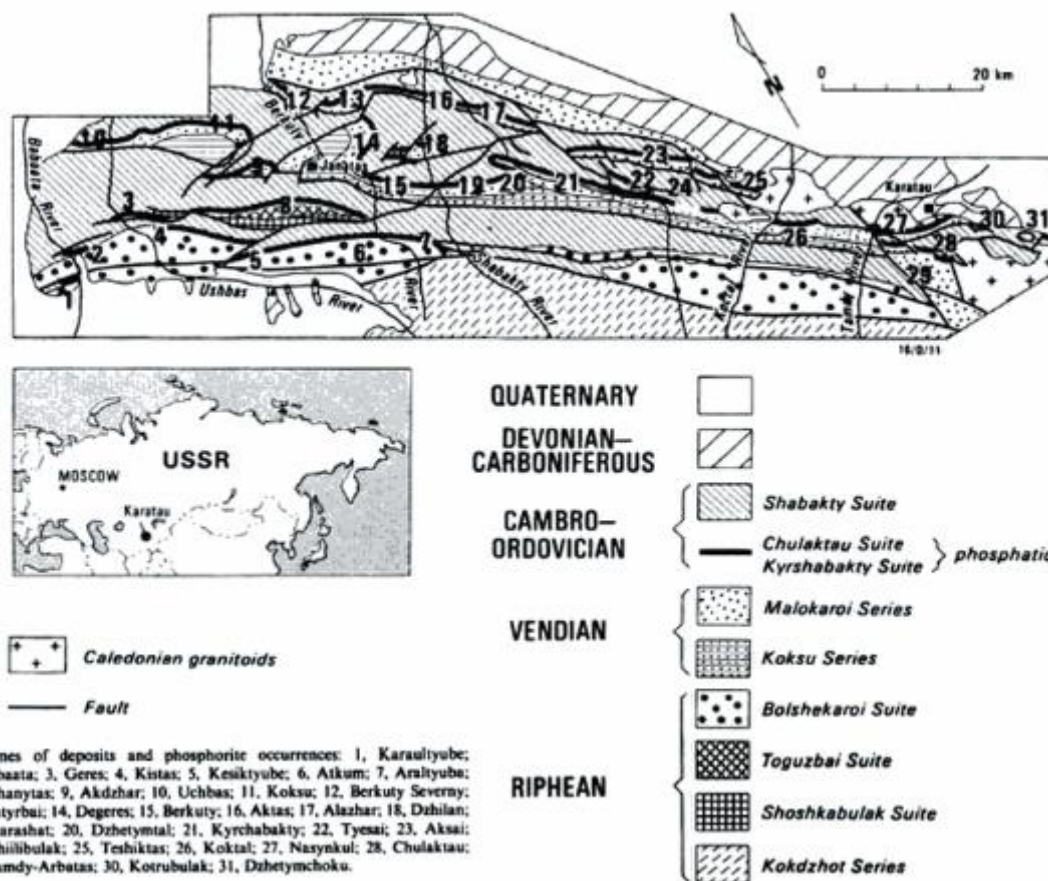


Рис. 7. Схематическая геологическая карта фосфоритоносного Каратауского бассейна (Eganov et al., 2005)

Продуктивный горизонт мощностью до 65 м в северо-западной части бассейна в свою очередь подразделяется на *нижнюю фосфоритную* (кондиционные фосфоритовые руды), *среднюю фосфатно-сланцевую* (фосфатные глинисто-кремнистые сланцы) и *верхнюю фосфоритную пачки* (рис. 8).

В юго-восточной части бассейна нижняя и средняя пачки отсутствуют. Характеристика продуктивного горизонта по основным месторождениям бассейна приведена в таблице 2.

Месторождение	Мощность горизонта, м				Продуктивный горизонт		
	нижних доломитов	кремневый	продуктивный	железистых доломитов	число промышленных пластов	средние мощности пластов	среднее содержание P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %
Чулактау	5-8	7-8	15-20	до 1	1-2	3-10	24
Аксай	7	4-5	до 40	до 1	1-2	13-15	23-24
Коксу	6-10	4-5	Знач.> 30	-	2-3	4-10	24,5-25
Джанатас	2,5-3	7-18	Знач.> 50-60	-	2	7-17	24-25
Кокджон	2-20	до 2,5	Знач.> 25	3-5	1	до 14,4	25-27

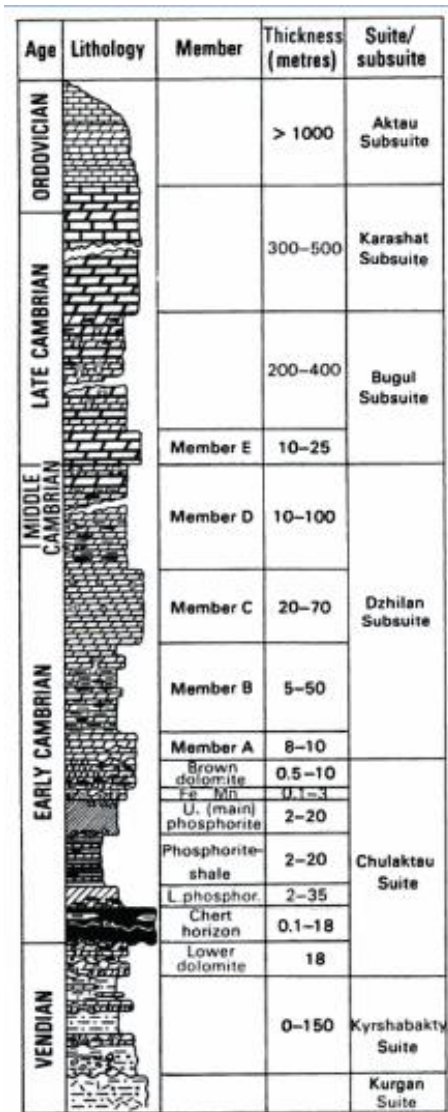


Рис. 8. Стратиграфический разрез кембрийско-ордовикских фосфоритоносных отложений (Eganov et al., 2005).

Одно из самых крупных эксплуатируемых **месторождений** бассейна - **Джанатас** (рис.9), находящееся в 90 км к северо-западу от г. Каратау, в составе своего продуктивного горизонта включает все три указанные пачки.

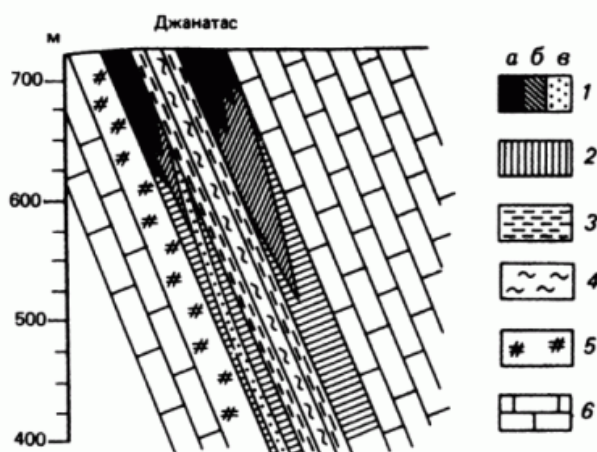


Рис. 9. Схема размещения типов руд на месторождении Джанатас (по А.М.Трушиной). Фосфоритовые руды: 1 - богатые (а - низкомагнезиальные, б - магнезиальные, в - высокомагнезиальные); 2 - рядовые; 3 - бедные; 4 - фосфатно-кремнистые руды; 5 - кремнистые руды; 6 - доломиты.



Нижняя фосфоритовая пачка, мощностью 3-20 м, в своем основании представлена тонким переслаиванием кремней с фосфоритами, сменяемым вверх пластами высококачественных субмономинеральных и карбонатных фосфоритов, разделенных маломощными прослоями бедных кремнистых фосфоритов и алевритовых фосфатно-глинистых сланцев.

Средняя фосфатно-сланцевая пачка развита на месторождении не повсеместно. Она сложена фосфатно-кремнистыми, карбонатно-глинистыми и фосфатно-глинисто-кремнистыми породами иногда с прослоями фосфоритов. Мощность пачки 0,5-33 м.

Верхняя фосфоритная пачка сложена темно-серыми мономинеральными и карбонатными фосфоритами с прослоями фосфоритного конгломерата до 1-4 м мощностью, пелитоморфно-кремнистых фосфоритов и фосфатно-глинисто-кремнистых сланцев. Мощность пачки изменяется от 10 до 44 м, составляя в среднем 14 м.

Фосфориты месторождения Джанатас типичны для бассейна в целом. Это плотные серые и темно-серые до черных образования микрозернистой структуры: фосфатные зерна и оолиты диаметром 0,08-0,2 мм тесно сгружены в фосфатном или фосфатно-карбонатно-кремнистом цементе. Плотность руд 2,5-3 г/см<sup>3</sup>, твердость 4-5. Ведущий минерал - фторкарбонатапатит. Другие минералы в нерастворимом остатке: халцедон, кварц и иногда (в песчаных разновидностях) полевые шпаты. Акцессорные минералы: единичные зерна циркона, турмалина, роговой обманки, флюорита, глауконита, хлорита. В карбонатсодержащих разновидностях появляются доломит и кальцит. Редко встречаются конкреционные фосфориты, а также фосфоритовые конгломераты с известковым или фосфатным цементом.

По содержанию P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (мас. %) на месторождении выделено четыре основных типа фосфатных руд: богатые (более 28,7), рядовые (23-28,7), бедные (15-23), фосфатно-кремнистые (10-15, SiO<sub>2</sub> - 40-55). В свою очередь богатые руды по содержанию MgO (мас. %) подразделяются на низкомагнезиальные (до 2), магнезиальные (2-2,5) и высокомагнезиальные (более 2,5). Богатые

руды пригодны для размола на фосмуку и для кислотной переработки, рядовые - для электротермической переработки, бедные используются в смеси с рядовыми, а фосфатно-кремнистыми - шихтуют рядовые руды, причем кремнезем (халцедон) играет роль флюсовой добавки.

### **Контрольные вопросы**

1. Общая характеристика месторождений фосфоритов
2. Типизация фосфоритовых руд
3. Микрозернистые, зернистые, желваковые руды, их генезис и стадийность образования фосфоритов
4. Ракушечные, галечниковые, рыхлые, каменистые фосфориты, их генезис
5. Общая характеристика Каратауского бассейна микрозернистых фосфоритов
6. Стратиграфия Каратауского бассейна
7. Стратиграфия и фосфатные руды месторождения Джанатас

### Лекция 3. Цеолиты. Цеолиты Закарпатья и цеолитсодержащие породы Русской плиты

Общая характеристика цеолитов и механизмов их образования. Клиноптилолитовые туфы Закарпатья. Верхнемеловые цеолитсодержащие породы Русской плиты. Происхождение верхнемеловых и палеоценовых цеолитов Русской плиты

**Цеолиты** - это общее название группы минералов водных алюмосиликатов кальция, натрия и калия каркасного строения, очень разнообразных и широко распространенных в природе. Насчитывается более 90 видов природных цеолитов. Однако лишь несколько образуют промышленные скопления: клиноптилолит, гейландит, морденит, эрионит, анальцит, шабазит, филлипсит, ломонтит.

Образуются цеолиты преимущественно вследствие перекристаллизации изверженных пород, а именно кислого вулканического стекла. Замещение вулканического стекла цеолитами может быть диагенетическим или низкотемпературным гидротермальным.

**Механизм цеолитизации** изучен недостаточно. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что главными процессами являются взаимодействие алюмосиликатного субстрата с поровыми растворами и переотложение растворенного материала. Происходит ли при этом промежуточное образование геля, остается неизвестным.

Все цеолитовые минералы химически близки и отличаются преимущественно кристаллической структурой, характеризующейся соединенными в кольца алюминий-кремний-кислородными тетраэдрами, размещение которых создает характерную для всех минералов группы цеолитов пористую кристаллическую решетку. Цеолиты называют молекулярными ситами.

В этой решетке имеются многочисленные соединенные каналами и окнами микропоры, размеры и конфигурация которых для каждого минерала разные. Объем этих пор составляет десять и более процентов объема кристалла. В порах находятся ионы Ca, Na, K, которые нейтрализуют электрический заряд каркаса и воды прочно связанной с каркасом цеолита. При осторожном нагревании вода может быть удалена без разрушения кристал-

лической структуры минерала, а потом опять адсорбирована, или ее место могут занять молекулы других полярных газов и жидкостей, ионные радиусы которых разрешают проникать в поры. Вследствие обмена, ионы Са, Na и К могут быть заменены близкими по размерам ионных радиусов катионами.

Отмеченные особенности обуславливают основные полезные свойства цеолитов: адсорбционные, катионно-обменные, молекулярно-ситовые и каталитические, которые широко применяются в разных отраслях промышленности и народного хозяйства.

**Цеолиты используются** как недорогие природные сорбенты, в том числе для концентрации и разделения ионов в промышленных объектах и отходах производств, рекультивации хвостохранилищ отработанных урановых и других месторождений, рекультивации загрязненных радионуклидами, пестицидами почв или донных отложений водоемов и прочее. Успешное практическое использование природных цеолитов требует глубокого исследования их физико-химических свойств в зависимости от состава и структуры.

**Клиноптилолитовые туфы Закарпатья.** Цеолиты породных комплексов Украинского Закарпатья образовались вследствие гидротермально-метасоматических изменений вмещающих пород: дацитов Выгорлат-Гутинской вулканической гряды (десмин, шабазит), спилит-кератофиров Тростянецкого вулканогенного комплекса севернее Раховского и Чивчинского массивов (ломонтит, томсонит), андезитов и андезитовых туфов Береговского холмогорья (натролит, гармотом), диорит-порфиритов Вышковского района (ломонтит, натролит), липаритовых туфов Солотвинской впадины (клиноптилолит, анальцит, морденит, жисмондин).

Наибольший практический интерес представляют перспективные залежи туфов второй ассоциации в окрестностях с. Сокирница (в 12 км юго-западнее г. Хуста Закарпатской области Украины) - почти мономинеральные цеолитовые (клиноптилолитовые) породы (рис. 10) туфогенно-осадочного

генезиса. Эти породы выявлены среди отложений *нанковской подсвиты тересвянской свиты верхнего тортона (миоцен)*.

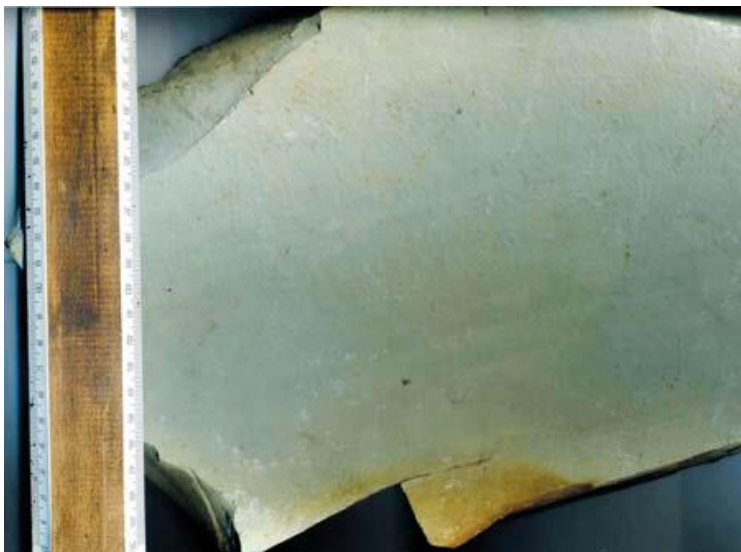


Рис. 10. Общий вид плагиолипаритового грубоалевритового интенсивно цеолитизированного туфа витрокристаллокластической структуры - почти мономинеральной клиноптилолитовой породы Сокирницкого месторождения (Шушков и др., 2012)

Породы представляют собой плагиолипаритовые грубоалевритовые, сильно цеолитизированные туфы витрокристаллокластической структуры от светло-зеленого (светло-голубого) до бледно-желтого (кремового) цвета. Порода крепкая массивная с объемной массой 1,74–2,6 г/см<sup>3</sup>. Петрографическими исследованиями установлено, что основную ее массу составляет клиноптилолит, т.е. он является породообразующим минералом плагиолипаритовых туфов. В большинстве случаев образует мелкие кристаллы размером до 0,005, реже 0,04–0,05 мм. Клиноптилолит развивается по обломкам стекла и сохраняет их форму.

Исследуемые цеолитсодержащие толщи являются существенно клиноптилолитовыми. Содержание клиноптилолита по данным рентгенофазового анализа составляет от 70 до 90 % (Вальтер и др., 1975). Клиноптилолитовые толщи слагают промышленные залежи цеолитов в пределах Украинского Закарпатья, которые представлены тремя месторождениями: разрабатываемыми Сокирницкое и Сарыгыч и неразрабатываемым - Зеленокаменное. Наибольшим является Сокирницкое месторождение с утвержденными балансовыми запасами 126,1 млн. т, из них 39,5 млн. т – цеолиты высокого качества.

Детальное вещественно-генетическое изучение **верхнемеловых пород востока и юго-востока Русской плиты** показало повсеместное присутствие цеолитов во всех изученных типах карбонатных, кремнистых и глинистых пород (Зорина и др., 2008). Устойчиво высокие концентрации цеолитов выявлены в разрезах сантонских свит, слагающих коньяк-сантонский тектоно-эвстатический циклит.

Интерес к этим отложениям резко возрос в связи с открытием в начале 90-х годов прошлого века на юго-западе РТ Татарско-Шатрашанского месторождения цеолитсодержащих пород (А.Н. Тюрин, 1992), приуроченного в коньяк-сантонскому циклиту северо-востока Ульяновско-Саратовского прогиба. К настоящему времени определились следующие приоритетные направления их использования:

1) в строительстве - в качестве активных минеральных добавок к вяжущим, как природных материалов для получения обжиговых изделий; 2) как адсорбционное сырье - в земледелии (кормодобавки, пролонгаторы действия удобрений), в отраслях охраны окружающей среды (очистка питьевых и промышленных вод, осушка и сероочистка нефтяных газов и т.д.); 3) как химическое сырье - для получения жидкого стекла и продуктов на его основе; 4) в качестве наполнителей композиционных материалов: резины, пластмасс и др.

Потребительские свойства этих пород связаны, в первую очередь, с катионообменной и адсорбционной способностями, обусловленными одновременным присутствием цеолита, опал-кристобалита и монтмориллонита, каждый из которых может проявлять эти свойства и самостоятельно. Кальцит, глауконит и кварц, входящие в состав этих пород, в зависимости от направления использования могут выступать как в роли полезных компонентов, так и вредных или нейтральных.

По данным ГСР-50, верхнемеловые свиты, слагающие водораздельные поверхности на юго-западе РТ, повсеместно являются цеолитсодержащими. Цеолиты присутствуют во всех литологических разностях среднего коньяка –

нижнего сантона и верхнего кампана. Содержание цеолитов в них, по данным РКФА, обычно составляет 10-25% (табл. 3).

Продуктивный верхнемеловой горизонт цеолитсодержащих пород представлен сурской (средний – верхний коньяк), кирзятской (нижний сантон) и ардымской (верхний кампан) свитами верхнего мела, общей мощностью до 43 м.

Таблица 3

Средние содержания опал-кристобалитовой фазы, кальцита и клиноптилолита в меловых свитах и толщах юго-запада РТ (по данным РКФА)

Подъярус	Породы свит, толщ	Опал-кристобалитовая фаза, %		Кальцит, %		Клиноптилолит, %	
		Кол-во проб	$\bar{X}_{\text{ср}}$ от - до	Кол-во проб	$\bar{X}_{\text{ср}}$ от - до	Кол-во проб	$\bar{X}_{\text{ср}}$ от - до
Верхнекам-панский	Опоки ардымской свиты	3	<u>40</u> 38,9-41,2	5	<u>15,8</u> 3-28,7	5	<u>16,28</u> 15,2-21
Нижнесан-тонский	Опоки кирзятской свиты	20	<u>42,5</u> 34,1-50	33	<u>16,9</u> 13-29	34	<u>15,9</u> 10-23,3
	Мергели кирзятской свиты	7	<u>22,2</u> 6,3-39	7	<u>39</u> 29,6-65	7	<u>18,1</u> 14,8-21,5
Средне-верхнеконьякский	Мергели сурской свиты		-		-	6	<u>13,8</u> 10-16
Среднеальб-ский	Глины аловской толщи	6	<u>14,9</u> 9-25,4		-	6	<u>33,9</u> 31,7-35
	Алевриты аловской толщи	2	<u>15</u> 14-16		-	2	<u>15</u> 13-17

Петрографическое и нанопетрографическое (рис. 11) изучение верхнемеловых цеолитсодержащих пород северо-востока Ульяновско-Саратовского прогиба показало, что цеолиты представлены длинными (2-10 микрон), идиоморфными брусковидными кристаллами, которые располагаются независимо от леписферических образований – «ежиков» люссатита и избирают пространство между последними (Зорина и др., 2000). Цеолиты «нарастают» также на стенки раковинок фораминифер.

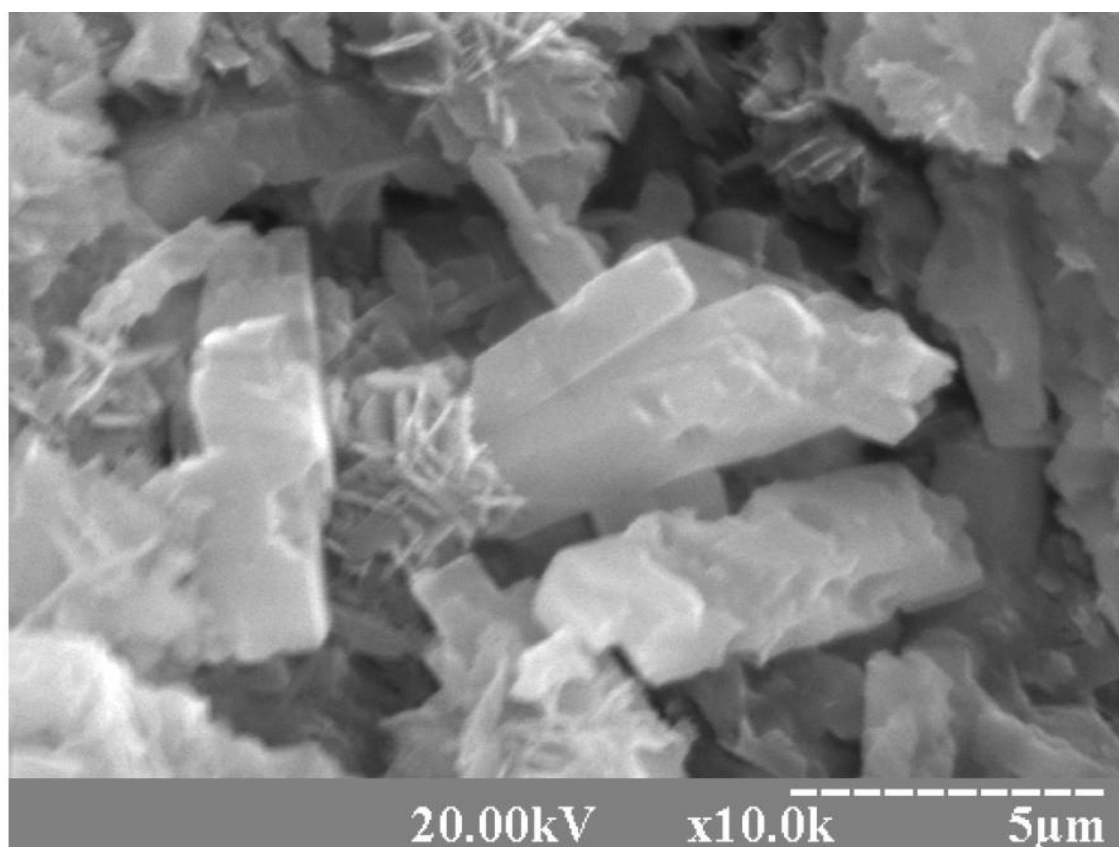


Рис. 11. Брусковидные кристаллы клиноптилолита среди леписфер люссатита в кампанской опоке.

Верхнекампанские и нижнесантонские опоки характеризуются близкими содержаниями цеолита (16% и 15,9% соответственно) и опал-кристобалита (40% и 42,5%), высокой известковистостью, с содержаниями кальцита от 13 до 29%.

Нижнесантонские мергели отличаются более высокими содержаниями цеолита – 14,8-21,5%. Цеолиты также, как и в опоках, в основном приурочены к сгусткам кремнистого вещества. Менее характерной, но также часто встречающейся формой распространения цеолитов в кремнеземистых мергелях, является заполнение агрегатами кристалликов цеолитов полостей в раковинках фораминифер.

Татарско-Шатрашанское месторождение, разведенное на юго-западе РТ, принадлежит к числу наиболее изученных объектов цеолитсодержащих пород на востоке Русской плиты. На территории Татарстана опойскован и



выделен в качестве перспективных целый ряд проявлений, приуроченных к верхнемеловым отложениям.

**Происхождение верхнемеловых и палеоценовых цеолитов Русской плиты.** Недавно проведенными исследованиями установлено, что цеолиты распространены во всех литологических типах верхнемеловых и палеоценовых пород, слагающих литостратоны туронского-датского возраста на востоке и юго-востоке Русской плиты (Зорина и др., 2008). Наиболее перспективным стратиграфическим уровнем признан сантонский, к которому приурочены наиболее высокие (до 30%) содержания цеолитов.

В подтверждение полученных выводов следует отметить, что в Ульяновской области в нижнесантонских отложениях разведано Юшанское месторождение цеолитсодержащих пород. Высоки перспективы выявления месторождений цеолитсодержащих пород в Самарской области, Саратовской, Пензенской областях, где установлены широкие выходы приповерхностного залегания верхнемеловых цеолитсодержащих пород.

В верхнемеловых породах востока Русской плиты выявлен парагенез аутигенных минералов: опал-кристобалит-тридимит, смектит, клиноптилолит, глауконит, в ассоциации с полурастворившимися обломками вулканических стекол (Зорина, Афанасьева, 2015). Эта ассоциация называется «камуфлированной пирокластикой» (Коссовская, 1975) и представляет собой пепловый материал вулканических эксплозий, преобразованный в более устойчивые минеральные компоненты.

Преобразование пеплового материала в «камуфлированную» пирокластику носит стадийный характер.

Подтверждением данного тезиса являются установленные генетические особенности формирования верхнемеловых цеолитсодержащих опок с просями бентонитоподобных глин разреза «Вишневое» (Саратовская обл.); даний-зеландских опок нижнесызранской свиты Каменноярского месторождения (Астраханская обл.); эоценовых смектитсодержащих глин киевской свиты Ивановского проявления (Волгоградская обл.).

Коньяк-кампанские опоки с прослоями бентонитоподобных и глауконитовых глин разреза «Вишневое» включают парагенез ОКТ, смектита, клиноптилолита, глауконита в ассоциации с полурастворившимися обломками вулканических стекол, т.е. «камуфлированной» пирокластикой (рис. 12Б, 12В).

Опоки с наиболее высоким содержанием ОКТ, являющиеся высококачественным адсорбционным сырьем, приурочены к нижнесызранской свите дания-зеландия. Ярким примером таких опок является Каменноярское месторождение. Нанопетрографическое изучение показало, что основная масса породы сложена глобулярным опал-кристобалит-тридимитом, образующим как небольшие скопления, так и сплошные кремнистые массы разной степени уплотненности.

Среди глобулярных агрегатов отмечается большое количество обломков вулканических стекол с ребристой поверхностью и следами растворения по краям. Наличие обломков полурастворившихся вулканических стекол и радиолярий, рассеянных глобуль и сплошных кремнистых масс разной степени уплотненности характеризуют метастабильное состояние вещества и свидетельствуют о происходящем переходе в более устойчивое физико-химическое состояние (рис. 12Г).

Процесс перехода реакционно способного пеплового материала в более устойчивое физико-химическое состояние представляет собой многостадийный процесс (Зорина, Афанасьева, 2015). После разгрузки пепловых туч (I стадия) и осаждения частиц стекла дацитового состава в морском бассейне образуются клиноптилолит-радиоляриево-монтмориллонитовые илы (II стадия), подвергшиеся затем диагенетическому преобразованию. В настоящее время мы видим процесс распада клиноптилолита и радиолярий с переходом в ферриалюмокремнистые гелеподобные образования и новообразованный монтмориллонит (III стадия). Дальнейшее преобразование коллоидного вещества будет заключаться в интенсивном уплотнении, обособлении и раскристаллизации геля и завершится, вероятно, формированием глобулярного

опал-кристобалит-тридимита и глауконита, а конечная фаза диагенеза (IV стадия) может привести к образованию глауконит-монтмориллонитовой глины с кремнистыми конкрециями.

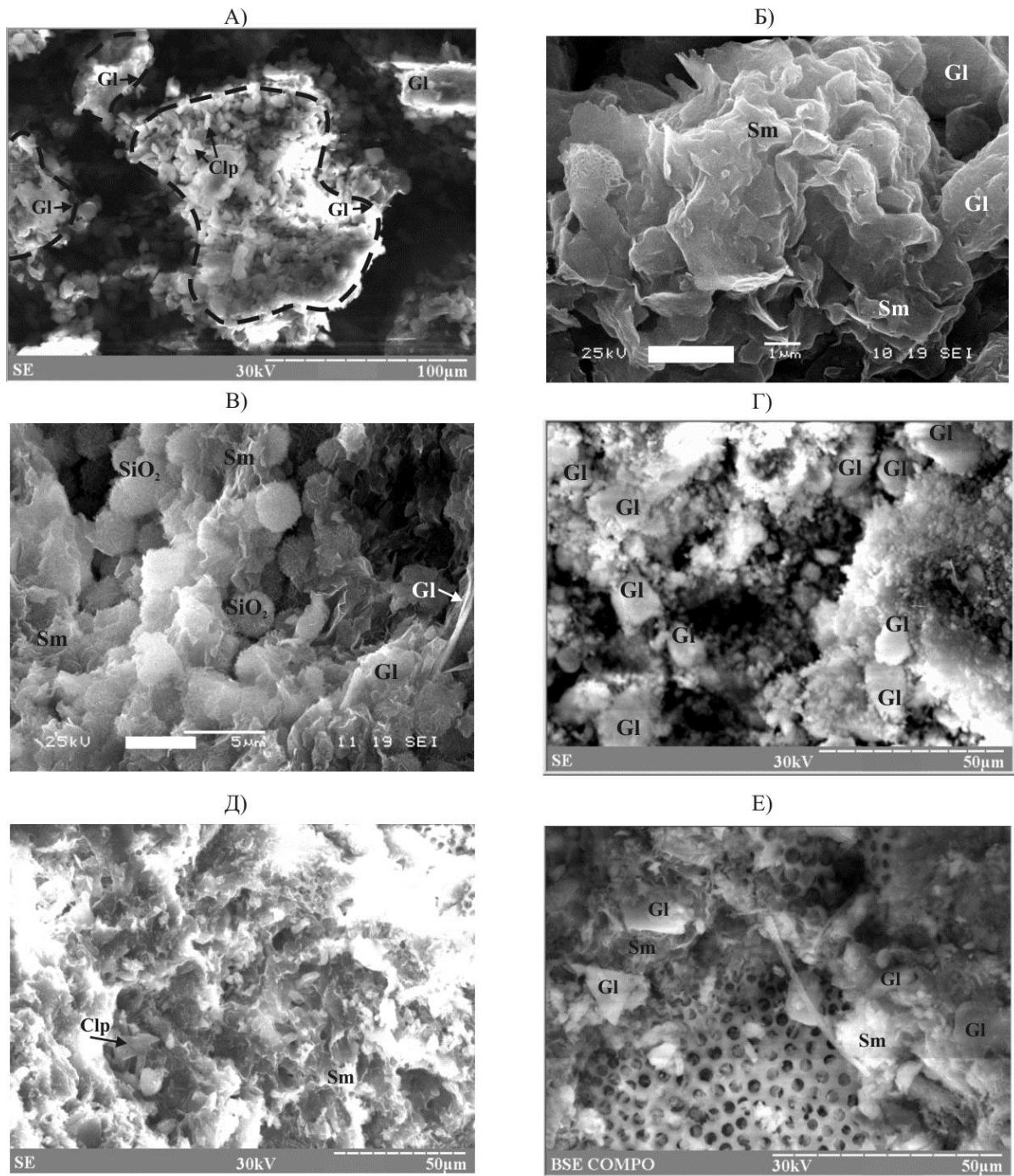


Рис. 12. Электронно-микроскопические изображения верхнемеловых-миоценовых пород, содержащих «камуфлированную пирокластику».

Условные обозначения: А – цеолитизированные пепловые частицы в нижнемиоценовых алевритах разреза «Горелки» (Воронежская обл.); Б-В – глины и опоки разреза «Вишневое» (Саратовская обл.); Г – палеоценовая опока Каменноярского месторождения (Астраханская обл.); Д-Е – среднеэоценовые смектитсодержащие глины киевской свиты Ивановского проявления (Волгоградская обл.). Clp – клиноптилолит; Gl – вулканическое стекло; Sm - смектит.

Позднемеловыми и палеогеновыми источниками пирокластического материала могли быть активные эксплозии вулканической дуги Малого Кавказа. Излияние вулканитов могло сопровождаться выбросами кислого (легкого) пепла, который переносился воздушными потоками стратосферного слоя на РП. Миоценовый пепловый материал, изученный в разрезе Горелки, скорее всего был принесен из Внутренних Карпат.

### **Контрольные вопросы**

1. Общая характеристика цеолитов и механизмов их образования
2. Клиноптилолитовые туфы Закарпатья
3. Верхнемеловые цеолитсодержащие породы Русской плиты
4. Происхождение верхнемеловых и палеоценовых цеолитов Русской плиты

### **Лекция 4. Искусственный волластонит: возможности синтеза из мезокайнозойских карбонатных и кремнистых пород Русской плиты**

Общая характеристика природного и искусственного волластонита. Геологическое строение и стратиграфия месторождений мела, опок и диатомитов. Результаты эксперимента по получению искусственного волластонита.

#### **Общая характеристика природного и искусственного волластонита.**

Недавно проведенными исследованиями (Афанасьева и др., 2010) показана целесообразность использования мезокайнозойских карбонатных и кремнистых пород Среднего Поволжья (рис. 13) в новом нетрадиционном направлении – получении искусственного волластонита как необходимого компонента при производстве высококачественных керамических изделий.

Минерал «волластонит» представляет собой метасиликат кальция ( $\text{CaSiO}_3$ ), образующийся при высокотемпературном взаимодействии достаточно чистых кремнеземных и известковых компонентов. В природе такие условия возникают при региональном метаморфизме, контактовом метасоматозе и карбонатитовом магматизме.

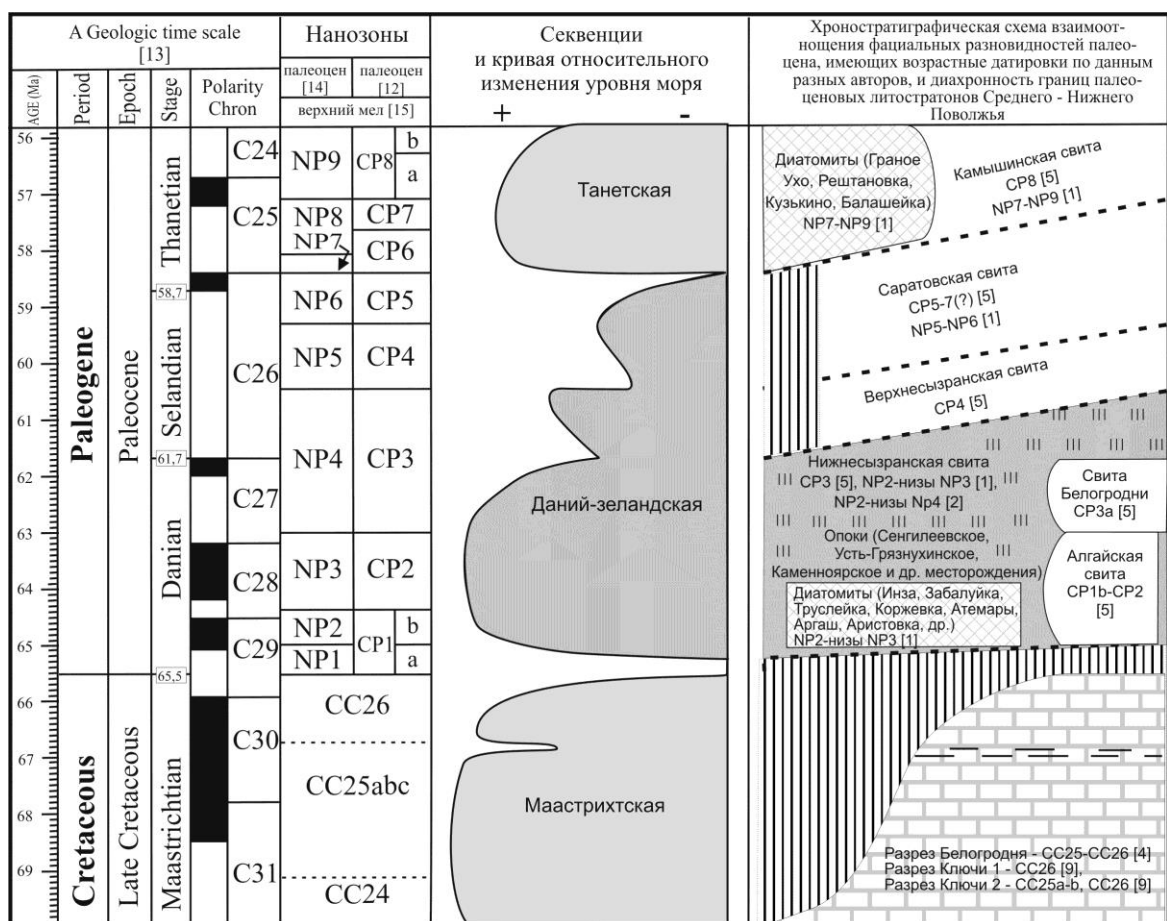


Рис. 13. Хроностратиграфическая схема верхнемеловых-палеоценовых отложений Среднего Поволжья (Зорина, Афанасьева, 2006)

Волластонит имеет волокнистую структуру, что обуславливает его широкое применение в качестве наполнителя в лакокрасочной и керамической промышленности.

Основным **направлением использования волластонита** является производство кафельной плитки. Известно, что вследствие неодинаковой усадки керамической массы при сушке и обжиге велика вероятность получения плиток разных размеров. Одноразмерность изделий может быть достигнута введением в исходную глиняную массу низкотемпературной разновидности волластонита ( $\beta$ -волластонита). Это позволяет снизить усадку в 2 раза, уменьшить деформацию плиток и повысить их механическую прочность. Кроме того, добавка  $\beta$ -волластонита снижает температуру обжига изделий и

обеспечивает уменьшение чувствительности к термовлажностному расширению.

Объекты с относительно крупными запасами и хорошим качеством волластонитовых руд разведаны и разрабатываются в США, Мексике, Индии, Финляндии, Югославии, Чехии и Намибии. В последнее время появились новые поставщики волластонита на рынок минерального сырья – Китай и Греция. Кроме того, известны месторождения в Канаде, Турции, Кении, Судане, Австралии и Новой Зеландии.

Достаточно большое число месторождений волластонита открыто в СНГ – в Казахстане, Узбекистане, Таджикистане, Молдове. В России наиболее крупные месторождения расположены в Сибири и на Дальнем Востоке. Опытная добыча волластонита лишь недавно и в незначительных объемах была организована на Синюхинском месторождении в Республике Алтай.

В настоящее время реальный спрос волластонита российскими потребителями превышает 65 тыс. т в год, а перспективный оценивается в 150-200 тыс. т в год.

Природный волластонит большинства известных месторождений неоднороден. Как правило, он обогащен разнообразными минеральными примесями, что значительно ограничивает сферы его применения. Обогащение руд существенно повышает их себестоимость и делает их разработку нерентабельной. Вместе с тем, для получения специальных и высококачественных керамических изделий промышленного и бытового назначения необходим волластонит высокой чистоты. Этим требованиям отвечает синтетический волластонит. Ценные свойства, придаваемые волластонитом керамическим изделиям, побудили многие зарубежные фирмы организовать его промышленное производство и выгодный экспорт.

В отличие от природного минерала, синтетический волластонит обладает более высокой чистотой и постоянством состава. В настоящее время синтетический волластонит в Европе производит бельгийская компания «Redco» и немецкая фирма «Rheinische Kalksteinwerke». К сожалению, в

нашей стране производство синтетического волластонита, при достаточно высокой его потребности, отсутствует.

Анализ опубликованной литературы показывает, что сырьем для получения синтетического волластонита могут служить искусственные смеси кальций- и кремнеземсодержащих компонентов со стехиометрическим соотношением CaO и SiO<sub>2</sub>, близким к 1 (от 0,8:1,0 до 1,1:1,0). Волластонит получается при высокотемпературном (1050-1250°C) обжиге смеси. В качестве известкового компонента может быть использован мел, мрамор, известняк; кремнеземистого - кварцевый песок, трепел, опока, диатомит, вулканический пепел.

На территории Среднего Поволжья выявлены многочисленные месторождения мела, опок и диатомитов, приуроченные к верхнемеловым и палеоценовым отложениям. Благодаря развитой инфраструктуре региона и высокому спросу на цементное и минерально-строительное сырье, значительная часть объектов активно отрабатывается. Широкое пространственное распространение мезокайнозойских кремнисто-карбонатных толщ на востоке Русской плиты, значительная (до 100 м) мощность продуктивных пластов и выдержанность литологического состава пород по разрезу предопределяет дальнейшие перспективы расширения минерально-сырьевой базы данных видов сырья.

В 2010 г. в ЦНИИгеолнеруде (Казань) были проведены технологические испытания шихты, составленной из мела, опок и диатомитов, для определения возможности синтеза волластонита (Афанасьева и др., 2010). По результатам проведенного эксперимента установлено, что карбонатно-кремнистое сырье можно использовать не только в традиционном направлении – в цементной промышленности, но и для получения искусственного волластонита - необходимого компонента при производстве высококачественной керамической плитки.

**Геологическое строение и стратиграфия месторождений мела, опок и диатомитов.** С целью изучения возможности использования карбонатного и кремнистого сырья Среднего Поволжья для получения синтетического волластонита авторами были обследованы месторождения мела (Забалуйское, Большеключищенское), опок (Сенгилеевское) и диатомитов (Забалуйское), расположенные в Ульяновской области (рис. 14). На объектах было выполнено послойное описание разреза, вскрытого карьером, и проведено лабораторно-технологическое опробование продуктивной толщи.

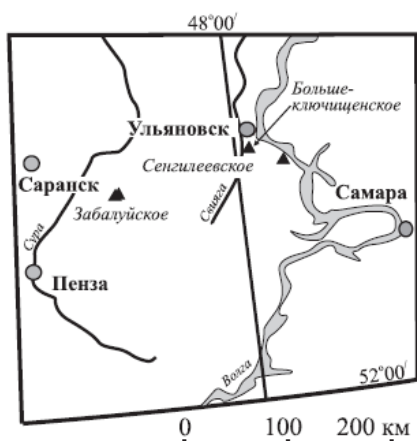


Рис. 14. Схема расположения изученных объектов

Карьер **Большеключищенского месторождения мела** расположен в 2,7 км восточнее с. Бол. Ключищи (Ульяновская обл.). Продуктивная толща представлена писчим мелом карсунской толщи нижнего маастрихта (рис. 15), который отрабатывается для производства извести. На абсолютной отметке 175 м мел перекрывается опоками нижнесызранской свиты палеоцена, являющимися вскрышей (рис. 16).



Рис. 15. Карьер Большеключищенского месторождения мела



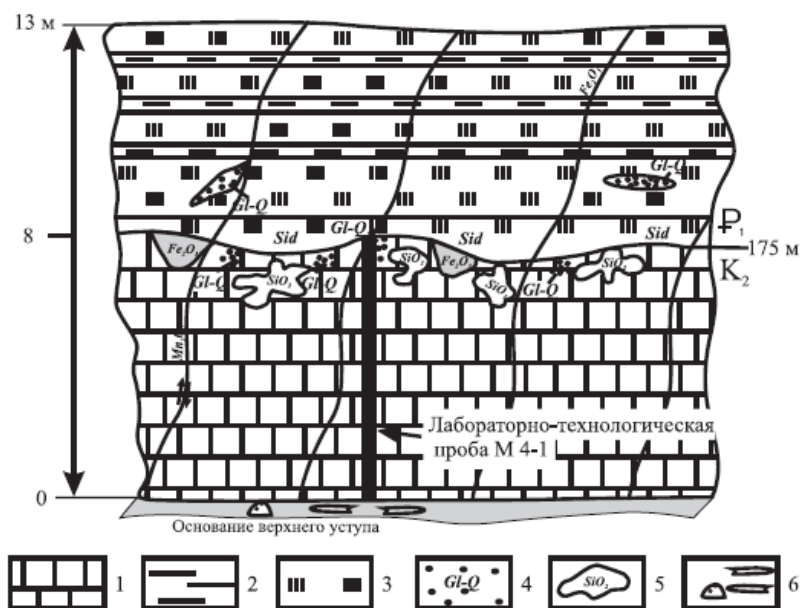


Рис. 16. Большеключи-  
шенское месторождение  
мела, 1 – мел, 2 – глина, 3  
– опока, 4 - глауконит-  
кварцевый песок, 5 – опа-  
литовые конкреции, 6 –  
макрофауна.

В северной стенке карьера вскрыт мел беловато-светло-серый, однородный, мягкий, массивный, цеолитистый, разбитый системой трещин. По поверхностям трещин отмечаются налеты окислов марганца и слабая обожренность. В кровле – обилие конкреций опалитов причудливой формы, гнезд лимонитизации и кварц-глауконитового песка. Видимая мощность – 8 м.

По всему слою отобрана бороздовая лабораторно-технологическая проба М-4-1 длиной 8 м, шириной 10 см, глубиной 10 см, исходной массой 160 кг. Масса пробы после квартования – 40 кг.

Карьер **Забалуйского месторождения мела** для производства извести расположен в правом борту р. Инза, в 1,6 км ниже по течению от устья р. Сюксюм, протекающего через г. Инза. Карьер заброшен, не рекультивирован. Продуктивная толща представлена писчим мелом сенгилеевской свиты нижнего кампана. В восточной стенке карьера вскрыт мел белый, писчий, цеолитистый, однородный, мягкий, рыхлый, массивно-плитчатый, крупнощелевой и мелкоглыбовый, трещиноватый. Видимая мощность – 5 м.

По всему слою отобрана бороздовая лабораторно-технологическая проба М-3-1 длиной 5 м, шириной 15 см, глубиной 10 см, исходной массой – 150 кг. Масса пробы после квартования составила 40 кг.

Карьер Забалуйского месторождения диатомитов расположен в левом борту р. Инза, в 300 м западнее юго-западной окраины д. Свет. Продуктивная толща представлена диатомитами и перекрыта опоками нижнесызранской свиты палеоцена. По результатам палеофлористического анализа, слои диатомитов датируются данием.

Диатомиты обрабатываются комбинатом по производству фильтровальных порошков, расположенном в д.Свет. В восточной стенке карьера, во 2 уступе вскрыто снизу вверх (рис. 17).

1. Диатомит желтовато-беловато-светло-серый (в сухом состоянии белый), однородный, очень легкий, слабый, хрупкий, глинистый, алевритистый, слоистый (мощность слоев – 1,2–1,3 м), трещиноватый, по трещинам лимонитизированный, от мелкощебневого до среднеглыбового. Видимая мощность – 8 м (рис. 18).

По всему слою отобрана бороздовая лабораторно-технологическая проба Кр-1-1 длиной 8 м, шириной 10 см, глубиной 10 см. Исходная масса пробы – 96 кг, после квартования – 20 кг.



Рис. 17. Диатомитовый карьер Забалуйского месторождения.

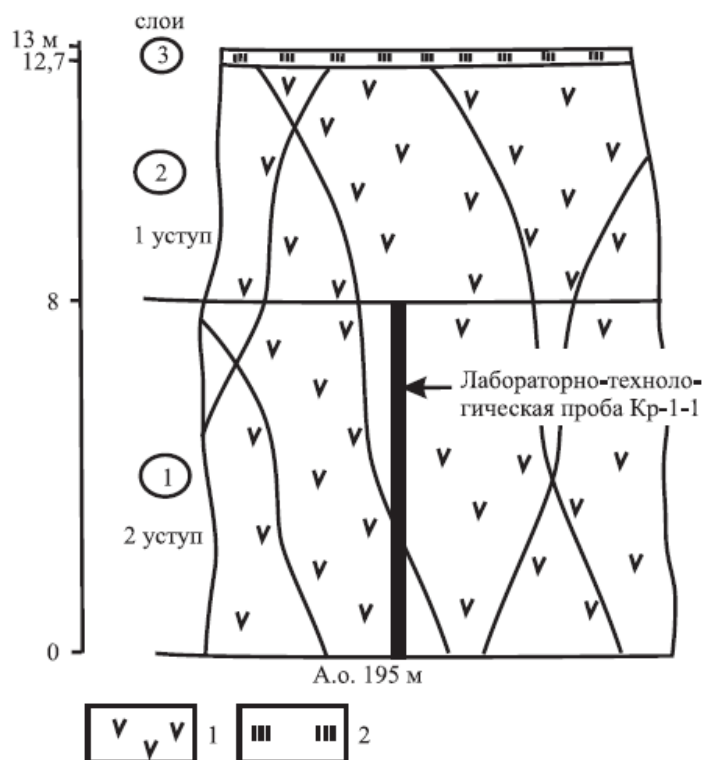


Рис. 18. Схема опробования диатомитов в Забалуйском месторождении. 1 – диатомиты, 2 – опоки.

2. Диатомит желтовато-светло-серый, белесый (в сухом состоянии желтовато-белый), глинистый, однородный, легкий, слабый, слоистый (мощность слоев – 1,2-1,3 м), прослоями массивный, оскольчато-глыбовый и оскольчато-щебневый. Мощность – 4,7 м.

3. Опока синевато-темно-серая, очень крепкая, звонкая, остроугольно-оскольчатая, с раковистой поверхностью скола, участками переходящая в опоку желтовато-белую, крепкую. Видимая мощность – 0,3 м.

Карьер **Сенгилеевского месторождения опок** находится на правом берегу р. Волга, в 6,2 км северо-западнее пристани в г. Сенгилей (Ульяновская обл.). Продуктивная толща представлена опоками нижнесызранской свиты палеоцена, которые отрабатываются в качестве гидравлической добавки при производстве цемента.

В западной стенке карьера (рис. 19) вскрыто переслаивание опок светло-серых (70%), со слабым зеленоватым оттенком, безызвестковистых, слабоглинистых, алевритистых, слабых, тонкослоистых и опок темно-серых (30%), крепких, «звонких», с раковистой поверхностью скола, неравномерно алевритистых остроугольно-крупнооскольчатых. В пачке переслаивания отмеча-

ются линзы (до 0,5 м в длину и до 0,2 м мощностью) алеврита полимиктового, обохренного, сильно глинистого. Видимая мощность – 5 м.



Рис. 19. Опоковый карьер Сенгилеевского месторождения

Из прослоя темно-серых опок отобрана задирковая лабораторно-технологическая проба Кр-3-1 длиной 5 м, глубиной 10 см, шириной 30 см, исходной массой – 270 кг (рис. 20). После квартования масса пробы составила 80 кг.

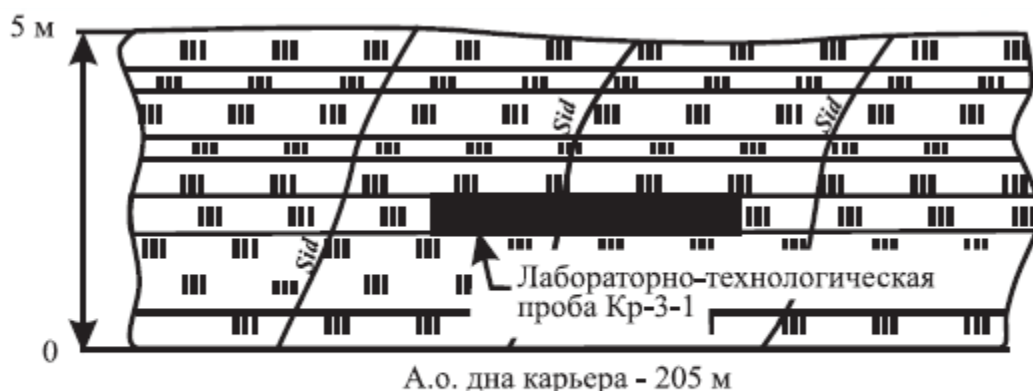


Рис. 20. Схема опробования опок в карьере Сенгилеевского месторождения.

С целью определения возможности получения искусственного волластонита из опробованного сырья четыре лабораторно-технологические пробы были подвергнуты аналитическим исследованиям и технологическим испытаниям. Минеральный состав пород определялся методом рентгеновского

количественного фазового (РКФА), химический - полного химического анализов (ПХА). Основным методом диагностики полученных синтетических волластонитов послужил рентгенографический фазовый анализ (РФА).

**Результаты эксперимента по получению искусственного волластонита.** Изучение исходных проб методом РКФА показало, что основной минеральной составляющей мела является кальцит, диатомитов – рентгеноаморфный опал, опок – опал-кристобалит-тридимитовая (ОКТ) фаза (табл. 4).

Компонент	Месторождение, номер пробы (литология)			
	Забалуйское, М-3-1 (мел)	Большеключищенское, М-4-1 (мел)	Забалуйское, КР-1-1 (диатомит)	Сенгилеевское, КР-3-1 (опока)
Кальцит	91	92	2	15
Монтмориллонит			28	
ОКТ-фаза				76
Рентгеноаморфный опал			55	
Слюда			5	1
Кварц			7	8
Цеолит	9	8		
Полевые шпаты			3	1
SiO <sub>2</sub>	1,61	2,37	81,82	86,57
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,01	0,40	0,28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,32	0,36	6,30	4,32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,13	0,16	1,80	2,40
FeO	0,01	0,01	0,26	0,32
MnO	0,02	0,02	0,01	0,01
CaO	54,17	53,39	0,73	0,30
MgO	0,36	0,40	0,88	0,67
Na <sub>2</sub> O	0,05	0,07	0,25	0,19
K <sub>2</sub> O	0,04	0,06	1,17	1,17
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,10	0,15	0,03	0,05
SO <sub>3</sub>	0,08	0,08	0,06	0,08
П.п.п.	42,82	42,69	6,71	3,48

Таблица 4. Минеральный и химический состав мела, диатомитов и опок, %.

Известно, что на протекание процессов силикообразования в бинарной системе CaO–SiO<sub>2</sub> основное влияние оказывают молярное соотношение CaO и SiO<sub>2</sub>, температура и продолжительность обжига, дисперсность исходных компонентов и состав примесей. В минеральном составе обожженной шихты

при разных режимах могут присутствовать следующие компоненты: высоко- ( $\alpha$ -) и низкотемпературный ( $\beta$ -) волластонит, ларнит ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ), ранкинит ( $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2$ ), геленит ( $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$ ), ОКТ-фаза и кварц. Наиболее ценным продуктом является  $\beta$ -волластонит ввиду его значительно более низких значений коэффициентов влажностного и температурного расширения.

В целях сравнения сырьевых материалов по их пригодности для синтеза волластонита нами проведен следующий эксперимент. Совместным сухим помолом на лабораторном истирателе материал проб измельчался до 80-100 мкм. Затем готовились мел-опоковая и мел-диатомитовая смеси, в которых соотношения  $\text{CaO}$  к  $\text{SiO}_2$  равны 0,9; 1,0; 1,1. Готовые массы были подвергнуты обжигу при температурах 1050, 1100, 1150, 1200 и 1250°C.

Минеральный состав обожженной смеси изучался методом РФА (табл. 5). В процессе синтеза волластонита из мела и опоки в первую очередь образуется ларнит. Это явление можно объяснить микрогетерогенностью частиц мел-опоковой смеси. Средний размер глобул опоки составляет 5 мкм, а панцирей кокколитофорид, из которых состоит мел, - 30 мкм. При температурах 1050 и 1100°C взаимодействие  $\text{SiO}_2$  и  $\text{CaO}$  с образованием  $\beta$ -волластонита происходит в условиях существенного избытка кальция и поэтому не приводит к образованию  $\beta$ -волластонита. Преобладающей минеральной фазой в составе обожженной смеси при этих условиях является ларнит.

При повышении температуры до 1150-1250°C образование  $\beta$ -волластонита прекращается (табл. 5). В составе всех обожженных проб присутствуют кристобалит и кварц, что указывает на неполный переход ОКТ-фазы в синтезируемый волластонит.

В отличие от мел-опоковой массы, размеры частиц мел-диатомитовой смеси сопоставимы между собой и в среднем составляют 30-50 мкм. Кроме того, рентгеноаморфный опал, слагающий створки диатомей, имеет бóльшую реакционную способность, чем частично раскристаллизованный ОКТ. В связи с этим синтез волластонита из диатомита и мела проходит более полно.

Таблица 5

Результаты рентгенографического фазового анализа обожженной шихты

Месторождение (лит. состав), номера проб, составляющих смесь	CaO: SiO <sub>2</sub>	t об- жига, °С	Минеральный состав обожженной шихты (по мере уменьшения содержания)						
			Л	β-вол	Кр	Кв	Гл		
Большеключи- щенское (мел), Сенгилеевское (опока), М-4-1 + Кр-3-1	0,9	1050	Л	β-вол	Кр	Кв	Гл		
	0,9	1100	Л	Гл	β-вол	Кр	Кв		
	0,9	1150	Л	α-вол	β-вол	Кр	Гл	Кв	
	0,9	1200	α-вол	Р	Кр	Гл			
	0,9	1250	α-вол	Р	Кр	Гл			
	1,0	1050	Л	β-вол	Кр	Гл	Кв		
	1,0	1100	Л	β-вол	Кр	Гл	Кв		
	1,0	1150	Л	α-вол	β-вол	Кр	Гл		
	1,0	1200	α-вол	Р	Кр	Гл			
	1,0	1250	Р	α-вол	Кр	Гл			
	1,1	1050	Л	β-вол	Кр	Кв	Гл		
	1,1	1100	Л	β-вол	Кр	Гл	Кв		
	1,1	1150	Л	α-вол	Гл	β-вол	Кр	Кв	
	1,1	1200	Р	α-вол	Л	Кр	Гл	β-вол	
Забалуйское (мел), Сенгиле- евское (опока), М-3-1 + Кр-3-1	1,0	1050	Л	β-вол	Кр	Кв	Гл		
	1,0	1100	Л	β-вол	Гл	Кр	Кв		
	1,0	1150	Р	β-вол	Гл	Кр	Кв		
	1,0	1200	Р	α-вол	Гл	Кр	Кв		
	1,0	1250	Р	α-вол	Гл	Кр	Кв		
	1,1	1050	Л	β-вол	Кв	Кр	Гл		
	1,1	1100	Л	β-вол	Гл	Кр	Кв		
	1,1	1150	Л	β-вол	Гл	α-вол	Кр	Кв	
	1,1	1200	Л	α-вол	Кр	β-вол			
Большеключи- щенское (мел), Забалуйское (диатомит), М-4-1 + Кр-1-1	0,9	1050	β-вол	Л	Гл	Кр	Кв		
	0,9	1100	β-вол	Гл	Л	Кр	Кв		
	0,9	1150	β-вол	Гл	Л	Кр	Кв		
	0,9	1200	α-вол	Гл	Кр	Р			
	0,9	1250	α-вол	Гл	Кр	Р			
	1,0	1050	β-вол	Л	Гл	Кв	Кр		
	1,0	1100	β-вол	Гл	Л	Кр	Кв		
	1,0	1150	β-вол	Гл	Л	α-в	Кр	Кв	
	1,0	1200	α-вол	Гл	Кр	Р			
	1,0	1250	α-вол	Гл	Кр	Р			
	1,1	1050	β-вол	Л	Кр	Гл	Кв		
	1,1	1100	β-вол	Гл	Л	Кр	Кв		
	1,1	1150	β-вол	α-вол	Гл	Л	Кр	Кв	
	1,1	1200	α-вол	Р	Кр	Гл			
Забалуйское (мел, диато- мит), М-3-1 + Кр-1-1	0,9	1050	β-вол	Л	Кв	Гл	Кр		
	0,9	1100	α-вол	Гл	Кр	Р			
	1,1	1050	β-вол	Л	Гл	Кв	Кр		
	1,1	1100	α-вол	Гл	Кр	Р			

Примечание. α-вол и β-вол – высоко- и низкотемпературный волластонит, Л – ларнит, Р – ранкит, Гл – геленит, Кр – кристобалит, Кв – кварц.

Основным минералом, образующимся при обжиге исходной шихты, является низкотемпературный волластонит, затем по мере уменьшения содержания – ларнит, геленит, кристобалит (табл. 2). Оптимальными соотношениями CaO и SiO<sub>2</sub>, для синтеза β-волластонита являются значения 0,9, 1,0 и 1,1, и температура обжига - 1100°C. Дальнейшее повышение температуры не способствует синтезу β-волластонита, а ведет к его трансформации в α-волластонита и появлению ранкинита.

В результате проведенных исследований установлено, что β-волластонит можно получить при обжиге шихт, в состав которых включается мел и опока, мел и диатомит. Наиболее полный синтез происходит, если в исходном материале в качестве кремнистой компоненты используется рентгеноаморфный опал диатомитов.

Диатомит, опока и мел, месторождения которых разведаны в Среднем Поволжье, помимо традиционной сферы применения в качестве цементного и минерально-строительного сырья, могут быть использованы в новом – инновационном направлении – для производства синтетического волластонита.

### **Контрольные вопросы**

1. Общая характеристика природного и искусственного волластонита
2. Геологическое строение и стратиграфия месторождений мела, опок и диатомитов
3. Результаты эксперимента по получению искусственного волластонита.



## Библиографический список

Афанасьева Н.И., Зорина С.О., Пермяков Е.Н., Самигуллин Р.Р. Карбонатные и кремнистые породы Среднего Поволжья – сырье для производства искусственного волластонита. Разведка и охрана недр. 2010. № 8. С.14-19.

Ерёмин Н.И. Неметаллические полезные ископаемые. Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. М. Академкнига. 2007. 464 с.

Зорина С.О., Афанасьева Н.И. «Камуфлированная» пирокластика в верхнемеловых-миоценовых толщах юго-востока Русской плиты. Доклады академии наук. 2015. Т. 463. № 4. С. 443–445.

Зорина С.О., Афанасьева Н.И., Волкова С.А. Цеолитоносность верхнемеловых-палеогеновых осадочных пород востока и юго-востока Русской плиты. Литология и полезные ископаемые. 2008. № 6. С. 638-649.

Максимова А.М. О необходимости перехода российской классификации запасов твердых полезных ископаемых на международный стандарт. Разведка и охрана недр. 2016. № 10. С. 41-46.

Инструкция по организации и производству геологосъемочных работ и составлению Государственной геологической карты СССР масштаба 1:50000 (1:25000). М., 1986.

Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. М. Недра, 4-е изд. 1982. 668 с.

Шушков Д.А., Котова О.Б., Наумко И.М., Бондар Р.А., Матвишин З.Г. Цеолиты: структура, свойства, генезис, применение. Разведка и охрана недр. 2012. № 1. С. 53-58.

Eganov E.A., Sovetov Yu.K., Yanshin A.L. Proterozoic and Cambrian phosphorites – deposits: Karatau, southern Kazakhstan, USSR. In: Phosphate Deposits of the World: Volume 1: Proterozoic and Cambrian Phosphorites. P. J. Cook, J. H. Shergold, Peter John Cook (Eds.). Cambridge University Press, 2005. 408 p.

## ЧАСТЬ 2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

**Задание 1-2.** Составить реферат и сделать доклад на семинаре

### Темы рефератов

1. Сопоставление российской и международной классификации запасов и ресурсов
2. Эпохи фосфорито-, боксито-, солеобразования в истории Земли
3. Гипотезы происхождения фосфоритов
4. Рудные и нерудные месторождения кор выветривания
5. Нефтематеринские породы Западно-Сибирского НГБ
6. Месторождения нерудных полезных ископаемых (по видам): стратиграфическая приуроченность и области практического применения.
7. Современные методы выявления нерудного минерального сырья (по видам)
8. Технологические исследования нерудного минерального сырья (по видам)

### Задание № 3-4:

Подготовиться к семинару на тему: «Перспективные объекты, проявления и месторождения фосфоритов Русской плиты (стратиграфия, качество сырья, перспективы освоения)».

### Задание № 4-5:

Выполнить анализ статьи на тему: «Геологическое строение, стратиграфия, фации и продуктивные толщи месторождения углеводородного или нерудного минерального сырья»

### Задание № 6-8:

Подготовиться к семинару на тему: «Методика выявления месторождения в слоистых толщах: от геологической съемки до оценки»

### **Вопросы для подготовки к контрольной работе**

1. Геология полезных ископаемых

2. Месторождения полезных ископаемых
3. Минерагения и металлогения
4. Классификация полезных ископаемых
5. Неметаллические полезные ископаемые и их классификация
6. Запасы и прогнозные ресурсы ТПИ и объекты подсчета и оценки
7. Классификация запасов по экономическому значению и по степени их изученности
8. Классификация запасов по степени геологической изученности
9. Классификация прогнозных ресурсов
10. Классификация месторождений в зависимости от сложности геологического строения
11. Классификация запасов по требованиям CRISCO и сопоставление с российской классификацией
12. Классификация прогнозных ресурсов нефти, газа, конденсата
13. Этапы и стадии геологического изучения недр
14. Региональное геологическое изучение недр
15. Виды геологических материалов и методика составления литолого-стратиграфической модели при ГСР

### **Вопросы к зачету**

1. Геология полезных ископаемых
2. Месторождения полезных ископаемых
3. Минерагения и металлогения
4. Классификация полезных ископаемых
5. Неметаллические полезные ископаемые и их классификация
6. Запасы и прогнозные ресурсы ТПИ и объекты подсчета и оценки
7. Классификация запасов по экономическому значению и по степени их изученности
8. Классификация запасов по степени геологической изученности

9. Классификация прогнозных ресурсов
10. Классификация месторождений в зависимости от сложности геологического строения
11. Классификация запасов по требованиям CRISCO и сопоставление с российской классификацией
12. Классификация прогнозных ресурсов нефти, газа, конденсата
13. Этапы и стадии геологического изучения недр
14. Региональное геологическое изучение недр
15. Виды геологических материалов и методика составления литолого-стратиграфической модели при ГСР
16. Общая характеристика месторождений фосфоритов
17. Типизация фосфоритовых руд
18. Микрозернистые, зернистые, желваковые руды, их генезис и стадийность образования фосфоритов
19. Ракушечные, галечниковые, рыхлые, каменистые фосфориты, их генезис
20. Общая характеристика Каратауского бассейна микрозернистых фосфоритов
21. Стратиграфия Каратауского бассейна
22. Стратиграфия и фосфатные руды месторождения Джанатас
23. Общая характеристика цеолитов и механизмов их образования
24. Клиноптилолитовые туфы Закарпатья
25. Верхнемеловые цеолитсодержащие породы Русской плиты
26. Происхождение верхнемеловых и палеоценовых цеолитов Русской плиты
27. Общая характеристика природного и искусственного волластонита
28. Геологическое строение и стратиграфия месторождений мела, опок и диатомитов
29. Результаты эксперимента по получению искусственного волластонита