

**ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**«ИЗОТОПНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ  
СЕДИМЕНТО - И ЛИТОГЕНЕЗА»**

**Рекомендуется для направления подготовки  
020700 «Геология» ПО МАГИСТЕРСКОЙ ПРОГРАММЕ  
«ЛИТОЛОГИЯ»**

Квалификация (степень) выпускника магистр

## **1. Цели и задачи дисциплины**

Целями освоения дисциплины «Изотопные методы седименто- и литогенеза» являются:

- освоение теоретических основ разделения стабильных изотопов углерода, кислорода и серы в процессах седименто- и литогенеза;
- ознакомление с современными достижениями в области геохимии изотопов осадочных пород;
- знакомство с методами изотопной геохимии и опытом его применения при установлении генезиса осадочных пород;
- ознакомление с современными методами комплексной интерпретации изотопных данных при решении вопросов условий образования и источника вещества осадочных пород.

## **2. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина «Изотопные методы седименто- и литогенеза» является курсом блока профильной подготовки вариативной части магистерского учебного плана. Её освоение базируется на курсах блоков общенаучной подготовки базовой и вариативной части бакалаврского учебного плана, включающего такие дисциплины как «Физика», «Химия общая», «Геохимия», «Литология», «Стадиальный анализ литогенеза», «Морская геология», «Океанология». Курс предоставляет возможность профессионального овладения современными проблемами, методикой эксперимента и прогрессивными технологиями комплексной обработки и интерпретации изотопных данных в области геохимии изотопов стабильных изотопов вещества осадочных пород. На знание данной дисциплины опираются дисциплины вариативной части Блока профильной подготовки В. Г. Магистерских программ Литология и Морская геология: «Древние обстановки карбонатонакопления», «Генетический анализ осадочных отложений нефтегазоносных бассейнов», «Современные осадочные бассейны», «Эндогенный и экзогенный рудогенез и его эволюция в истории Земли» и «Системный анализ литогенетических процессов».

## **3. Требования к результатам освоения дисциплины**

Процесс изучения учебной дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций:

### **Универсальные компетенции:**

#### **а) общенаучные:**

способность анализировать и оценивать философские проблемы при решении социальных и профессиональных задач (М-ОНК-1);

#### **в) системные:**

способность к творчеству, порождению инновационных идей, выдвижению самостоятельных гипотез (М-СК-1);

способность к поиску, критическому анализу, обобщению и систематизации научной информации, к постановке целей исследования и выбору оптимальных путей и методов их достижения (М-СК-2);

**Профессиональные компетенции:**

способность глубоко осмысливать и формировать диагностические решения проблем геологии путем интеграции фундаментальных разделов геологии, геохимии и специализированных геологических знаний (М-ПК-1);

способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области геологии, геохимии и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования, информационных технологий, с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (М-ПК-2);

способность использовать углубленные специализированные профессиональные теоретические и практические знания для проведения геологических (М-ПК-4);

способность свободно и творчески пользоваться современными методами обработки и интерпретации комплексной геологической для решения научных и практических задач, в том числе находящихся за пределами непосредственной сферы деятельности (М-ПК-6);

способность участвовать в руководстве научно-учебной работой студентов и школьников в области геологии (М-ПК-11);

способность проводить семинарские, лабораторные и практические занятия (М-ПК-12).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

**Знать:** историю развития Геохимии стабильных изотопов и ее место среди естественных наук; теоретические основы устройства масс-спектрометров и методов подготовки проб к изотопному анализу; основные задачи и методы изотопной геохимии; возможности и ограничения изотопных методов в литологических исследованиях; взаимосвязь и взаимообусловленность геолого-экологических изменений в литосфере и биосфере; практическое применение изотопных методов в нефтегазовой и рудной геологии.

**Уметь:** проводить изотопные исследования осадочных пород руд с целью выяснения их генезиса; выполнять интерпретацию изотопных данных (углерод, кислород, сера) вещества осадочных пород и руд.

**Владеть:** принципами построения и использования изотопно-геохимических моделей процессов осадочного рудогенеза; системным подходом при комплексных геологических и изотопно-геохимических исследованиях осадочных пород и руд.

#### 4. Структура и содержание дисциплины «Изотопные методы седименто- и литогенеза»

Общая трудоемкость дисциплины составляет 108 часов; в том числе 2 часов аудиторных занятий (28 часов лекций) и 80 часов внеаудиторных самостоятельных занятий студента.

#### 4.1. Структура преподавания дисциплины

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Семинары	Самостоятельная работа студента	
1.	Введение. Применение стабильных изотопов в литологических исследованиях	9	1	2	0	2	Устный опрос
2.	Методика подготовки проб к изотопному анализу. Принцип устройства масс-спектрометра	9	2	2	0	6	Представление рефератов. Устный опрос
3.	Изотопы кислорода и водорода в гидросфере	9	3	2	0	6	Представление рефератов. Устный опрос
4.	Основные процессы разделения изотопов углерода, кислорода и серы в седименто- и литогенезе.	9	4	2	0	6	Представление рефератов. Устный опрос
5.	Седиментогенез. Факторы, определяющие изотопный состав кислорода осадочных карбонатов.	9	5	2	0	6	Представление рефератов. Устный опрос
6.	Седиментогенез. Расчет палеотемператур по изотопным данным.	9	6	2	0	6	Представление рефератов. Контрольная работа.
7.	Седиментогенез. Изотопный состав углерода, кислорода и серы эвапоритовых формаций.	9	7	2	0	6	Представление рефератов. Устный опрос
8.	Изотопный состав углерода органического вещества.	9	8	2	0	6	Представление рефератов. Устный опрос
9.	Диогенез. Баланс и основные источники изотопных резервуаров углерода, кислорода и серы в осадках в условиях диогенеза.	9	9	2	0	6	Представление рефератов. Устный опрос
10.	Диогенез. Основные процессы и факторы, определяющие формирование изотопного состава углерода, кислорода и серы аутигенных минералов (карбонаты, сульфаты, сульфиды).	9	10	2	0	6	Представление рефератов. Устный опрос
11.	Диогенез. Основные процессы и факторы, определяющие формирование изотопного состава кислорода и водорода аутигенных минералов (глины, гидросиликаты).	9	11	2	0	6	Представление рефератов. Устный опрос
12.	Катагенез. Пресноводно-инфильтрационный катагенез: изотопный состав углерода и кислорода вторичных карбонатов.	9	12	2	0	6	Представление рефератов. Устный опрос
13.	Катагенез. Элизионный катагенез: характерные особенности формирования изотопного состава вторичных карбонатов на	9	13	2	0	6	Представление рефератов. Устный опрос

	разных стадиях (этапах) катагенеза погружения осадков.						
14.	Катагенез. Гравитационно-рассольный катагенез: доломитизация и вторичная кальцитизация.	9	14	2	0	6	Представление рефератов. Устный опрос
Промежуточная аттестация							Экзамен
Всего часов: 3 ЗЕ или 108 часа				28	0	80	

## 4.2. Содержание дисциплины

### Введение

Цель курса – дать студентам и магистрантам общие представления о принципах использования изотопных методов при выяснении условий образования и источника вещества осадочных пород, образованных на разных стадиях литогенеза (включая седиментогенез).

Область применения метода стабильных изотопов; возможности и ограничения. Общие сведения об элементарном составе атомов, об изотопах. Основные физико-химические процессы изотопного фракционирования (термодинамический и кинетический изотопный обмен). Принципы использования стабильных изотопов в геологических исследованиях.

### Содержание курса.

Основные сведения о вакуумной технике; основные принципы устройства и работы лабораторных вакуумных установок. Способы разложения пород и минералов при подготовке проб к масс-спектрометрическим измерениям: карбонатов - до  $\text{CO}_2$ , сульфатов и сульфидов - до  $\text{SO}_2$ ; перевод кислорода силикатов в  $\text{CO}_2$ . Принципиальное устройство газового масс-спектрометра; принцип масс-спектрометрических измерений.

Основные принципы и факторы разделения стабильных изотопов легких элементов (углерод, кислород, сера) при формировании осадков в морских и пресноводных условиях и их последующего преобразования и аутигенного минералообразования при диагенезе и на разных этапах катагенеза (катагенез погружения, инфильтрационно-пресноводный, гравитационно-рассольный).

Разделение изотопов кислорода и водорода в природных условиях. Глобальная линия метеорных вод (GMWL): широтная и высотная зависимость изотопного состава атмосферных осадков. Изотопные характеристики морских и пресных, грунтовых и артезианских вод. Происхождение подземных вод осадочно-породных бассейнов.

Основные процессы разделения изотопов углерода, кислорода и серы в седименто- и литогенезе; терминология, объем и критерии выделения стадий литогенеза. На конкретных геологических объектах рассматриваются изотопно-геохимические условия формирования аутигенных минералов на разных стадиях литогенеза.

Основные процессы разделения изотопов углерода при образовании осадочных и биогенных карбонатов. Факторы, определяющие изотопный состав кислорода осадочных карбонатов. Расчет палеотемператур по изотопным данным. Пресноводные и морские карбонаты. Изотопный состав углерода, кислорода и серы эвапоритовых формаций. Изотопный состав углерода органического вещества.

Геохимия изотопов силикатных и фосфатных минералов в осадочном и биогенно-осадочном процессе.

Диагенез – как неравновесная изотопно-геохимическая система. Баланс и основные источники изотопных резервуаров углерода, кислорода и серы в осадках в условиях диагенеза. Основные процессы и факторы, определяющие формирование изотопного состава углерода, кислорода и серы аутигенных минералов (карбонаты, сульфаты, сульфиды, силикаты).

Катагенез; разнообразие условий аутигенного минералообразования на постдиагенетической стадии литификации осадков. Пресноводно-инфильтрационный катагенез: изотопный состав углерода и кислорода вторичных карбонатов. Элизионный катагенез: характерные особенности формирования изотопного состава вторичных карбонатов на разных стадиях (этапах) катагенеза погружения осадков в осадочно-породных бассейнах; органическое вещество – как источник углекислоты и метана; основные генетические типы углеродно-кислородного вещества. Гравитационно-рассольный катагенез: доломитизация и вторичная кальцитизация; межсолевые и подсолевые доломиты.

## **5. Рекомендуемые образовательные технологии**

При освоении дисциплины «Изотопные методы седименто- и литогенеза» предусматривается широкое использование активных и интерактивных форм проведения занятий. Учащиеся осваивают методы системного подхода при построениях моделей аутигенного минералообразования. По результатам внеаудиторной работы (работа с литературными источниками, ресурсами Интернета) студенты под руководством преподавателя готовят презентации рефератов по основным разделам дисциплины.

**При чтении лекций** используются изотопные данные по конкретным геологическим объектам, студенты самостоятельно проводят их интерпретацию и делают заключения о генезисе и источнике вещества осадочных пород.

**6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

### **6.1. Примерный перечень тем для подготовки рефератов по разделам дисциплины.**

1. Основные физико-химические процессы изотопного фракционирования химических элементов.
2. Принципиальное устройство газового масс-спектрометра. Принцип масс-спектрометрических измерений. Методика подготовки природных проб к изотопному анализу водорода, углерода кислорода и серы.
3. Распространенность изотопов H, C, O и S в природе. Международные стандарты изотопного состава водорода, углерода, кислорода и серы.
4. Гидросфера: разделение изотопов кислорода и водорода в природных условиях.
5. Изотопные характеристики природных вод: морских, пресных, эвапоритовых бассейнов.
6. Основные процессы и этапы разделения изотопов углерода при образовании осадочных и биогенных карбонатов. Факторы, определяющие их изотопный состав.
7. Изотопный состав углерода, кислорода и серы пород эвапоритовых формаций.
8. Изотопный состав углерода основных групп органического вещества и углеводородных газов земной коры.
9. Основные источники углерода, кислорода и серы в зоне диагенеза и их изотопные характеристики.
10. Основные процессы и факторы, определяющие формирование изотопного состава углерода и кислорода аутигенных карбонатов зоны диагенеза.
11. Сульфат-редукция. Основные процессы и факторы, определяющие формирование изотопного состава серы аутигенных пиритов зоны диагенеза.
12. Катагенез погружения: эволюция изотопных углекислотно-водных систем.
13. Катагенез погружения: преобразование органического вещества, изотопный состав углерода CO<sub>2</sub> зоны катагенеза.
14. Основные закономерности распределения изотопного состава кислорода и водорода в глинистых минералах и аутигенном кварце в разрезах терригенно-осадочных пород.
15. Инфильтрационно-пресноводный катагенез: изотопный состав углерода и кислорода вторичных карбонатов. Почвенные карбонаты: изотопный состав и факторы, его определяющие.

## **6.2 Контрольные вопросы и задания для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

Для текущего контроля успеваемости студентов курсу «Изотопные методы седименто- и литогенеза» используются такие формы, как заслушивание и оценка доклада по теме реферата, собеседование при приеме результатов самостоятельной работы с оценкой и контрольные работы. По итогам обучения проводится экзамен.

Примерный перечень контрольных вопросов при проведении контрольных работ и экзамена:

1. Основные физико-химические процессы изотопного фракционирования химических элементов.
2. Принципиальное устройство газового масс-спектрометра. Принцип масс-спектрометрических измерений. Методика подготовки природных проб к изотопному анализу водорода, углерода кислорода и серы.
3. Распространенность изотопов Н, С, О и S в природе. Международные стандарты изотопного состава водорода, углерода, кислорода и серы.
4. Способы выражения изотопного состава элементов. Физический смысл относительных единиц  $\delta$ .
5. Разделение изотопов кислорода и водорода в природных условиях.
6. Изотопные характеристики природных вод: морских, пресных, эвапоритовых бассейнов.
7. Основные процессы и этапы разделения изотопов углерода при образовании осадочных и биогенных карбонатов.
8. Факторы, определяющие изотопный состав кислорода осадочных карбонатов.
9. Расчет палеотемператур по изотопным данным.
10. Изотопный состав морских и пресноводных карбонатов, образованных в разных природных условиях.
11. Изотопный состав углерода, кислорода и серы пород эвапоритовых формаций.
12. Изотопный состав углерода основных групп органического вещества и углеводородных газов земной коры.
13. Основные источники углерода, кислорода и серы в зоне диагенеза и их изотопные характеристики.
14. Основные процессы и факторы, определяющие формирование изотопного состава углерода и кислорода аутигенных карбонатов зоны диагенеза.
15. Сульфат-редукция. Основные процессы и факторы, определяющие формирование изотопного состава серы аутигенных пиритов зоны диагенеза.
16. Катагенез погружения: эволюция изотопных углекислотно-водных систем.
17. Катагенез погружения: преобразование органического вещества, изотопный состав углерода  $\text{CO}_2$  зоны катагенеза.
18. Изотопный состав аутигенных карбонатов зоны катагенеза осадочно-породных бассейнов.
19. Основные закономерности распределения изотопного состава кислорода и водорода в

глинистых минералах и аутигенном кварце в разрезах терригенно-осадочных пород.

20. Инфильтрационно-пресноводный катагенез: изотопный состав углерода и кислорода вторичных карбонатов.
21. Почвенные карбонаты: изотопный состав и факторы, его определяющие.
22. Гравитационно-рассольный катагенез: доломитизация, изотопные характеристики доломитов.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) основная литература:**

1. Бродский А.И. Химия изотопов. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 352 с.
2. Виноградов В.И. Роль осадочного цикла в геохимии изотопов серы. М.: Наука, 19
3. Галимов Э.М. Геохимия стабильных изотопов углерода. М.: Недра, 1968. 226 с.
4. Галимов Э.М. Природа биологического фракционирования изотопов. М.: Наука, 1981. 247 с.
5. Гриненко В.А., Гриненко Л.Н. Геохимия изотопов серы. М.: Наука, 1974. 274 с.
6. Дегенс Э.Т. Распределение устойчивых изотопов в карбонатах // Карбонатные породы: физико-химическая характеристика и методы исследования. М.: Мир, 1971. Т. 2. С. 141-153.
7. Дорофеева Л.А., Прилуцкий Р.Е., Бадинова В.П. Двойной карбонатный термометр как индикатор палеосолёности // Литология и палеогеография. 1996<sub>а</sub>. №4. С.102-123.
8. Изотопная геология /Под ред. Э.Йегера и И.Хунцикера) – пер с англ.- М.: Недра, 1984. 333 с.
9. Кулешов В.Н. Изотопный состав и происхождение глубинных карбонатов. М.: Наука, 1986. (труды ГИН АН СССР; Вып. 405). 125 с.
10. Кулешов В.Н. Эволюция изотопных углекислотно-водных систем в литогенезе. Сообщение 1. Седиментогенез и диагенез / Литология и полезные ископаемые, 2001. № .
11. Кулешов В.Н. Эволюция изотопных углекислотно-водных систем в литогенезе. Сообщение 2. Катагенез / Литология и полезные ископаемые, 2001. № .
12. Махнач А.А. Катагенез и подземные воды. Минск: Наука и техника, 1989. 335 с.
13. Тейс Р.В., Найдин Д.П. Палеотермометрия и изотопный состав кислорода органических карбонатов. М.: Наука. 1973.
14. Ферронский В.И., Поляков В.А. Изотопия гидросферы. М.: Наука, 1983.280 с.
15. Фор Г. Основы изотопной геологии: Пер. с англ.- М.: Мир, 1989. 590 с.
16. Хефс Й. Геохимия стабильных изотопов: Пер. с англ.- М.: Мир, 1983.
17. Холодов В.Н. Новое в познании катагенеза. Сообщение 1 // Литология и полезн. ископаемые. 1982<sub>а</sub>. № 3. С. 3-21.
18. Холодов В.Н. Новое в познании катагенеза. Элизонный катагенез. Сообщение 2 // Литология и полезные ископаемые. 1982<sub>б</sub>. № 5. С. 15-32.
19. Япаскурт О.В. Катагенез осадочных горных пород (методическое руководство к стадийному анализу). М.: Изд-во МГУ, 1999. 120 с.

20. Isotopic Signatures and Sedimentary Records //Lecture Notes in Earth Science (eds. N.Clauer and S. Chaudhuri). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1992. 529 p.
21. Stable Isotope Geochemistry: A Tribute to Samuel Epstein (eds. H.P.Taylor et al.). Special Publication No 3. The Geochemical Society, 1991. 516 p.

**б) дополнительная литература:**

1. Биогеохимия диагенеза осадков. М.: Наука, 1976. 207 с.
2. Боуэн Р. Палеотемпературный анализ. Л.:Недра. Ленинградское отд. 1969. 208 с.
3. Валяшко М.Г., Ветштейн В.Е., Жеребцова И.К. и др. Изменение изотопного состава водорода и кислорода морских рассолов в процессе галогенеза по экспериментальным данным // Проблемы соленакопления. Новосибирск, Наука, Сибирское отделение, 1977. С 120-124.
4. Вассоевич Н.В. Еще о терминах для обозначения стадий и этапов литогенеза // Тр. ВНИГРИ, 1962. Вып. 190, геол. (Геологический сборник, №7). С. 220-242.
5. Вассоевич Н.В. Стадии литогенеза // Справочник по литологии. М.: Недра, 1983. С. 85-96.
6. Горбушина Л.В., Тыминский В.Г. Радиоактивные и стабильные изотопы в геологии и гидрогеологии. М.: Атомиздат, 1974. 104 с.
7. Диагенез и катагенез осадочных образований // (под ред. Г.Ларсена и Дж.В.Чиллингара). Пер с англ. М.: Мир, 1971. 464 с.
8. Дорофеева Л.А., Прилуцкий Р.Е., Шкатова В.К. Двойной карбонатный термометр как инструмент корреляции и расчленения четвертичных отложений // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1996<sub>б</sub>, т.4. №5. С.105-110.
9. Есиков А.Д. Изотопная гидрология геотермальных систем. М.: Наука, 1989. 208 с.
10. Кулешов В.Н. Геохимия изотопов ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) и происхождение карбонатных марганцевых руд. М.: 2001. (Геол.. методы поисков, разведки и оценки м-ий тверд. пол. ископаемых. Обзор/ЗАО «Геоинформмарк»). 56 с.
11. Материалы метеорологических исследований, 1987. № 12. 87 с.
12. Найдин Д.П., Тейс Р.В. Изотопный состав кислорода органических карбонатов и некоторые проблемы биологии морских беспозвоночных // Палеобиология морских беспозвоночных прибрежных зон моря (АН ДВНЦ. Ин-т Биологии моря). Сб. N 4. Владивосток, 1975. С. 141-158.

**8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Для проведения занятий: интерактивных лекций-визуализаций, презентаций рефератов на семинарах – используется LCD проектор.

При самостоятельной работе студенты используют РС с выходом в Интернет, библиотеку геологического факультета МГУ.

**Разработчики:**

Геологический институт РАН, ведущий научный сотрудник, по совместительству профессор кафедры литологии и морской геологии МГУ В.Н. Кулешов 8(495) 959-33-92, kuleshov@ginras.ru

**Эксперты:**

Геологический институт РАН	Зав. лабораторией геохимии изотопов и геохронологии	Покровский Б.Г.
МГУ имени М.В. Ломоносова кафедра геохимии	доцент	Бычков А.Ю.

Программа одобрена на заседании Ученого совета Геологического факультета МГУ протокол

№            от

Декан  
геологического факультета МГУ,  
академик

Д.Ю. Пушаровский