

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Геологический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан Геологического факультета

чл.-корр. РАН



/Н.Н.Ерёмин/

«18» декабря 2025г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Наименование дисциплины (модуля):**

**Изотопный анализ в морской геологии**

---

**Уровень высшего образования:**

**Магистратура**

---

**Направление подготовки/ специальность:**

**05.04.01 «Геология»**

---

**Магистерская программа:**

**Морская геология**

---

**Форма обучения:**

**Очная**

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Учебно-методическим Советом Геологического факультета МГУ  
(протокол № 8 от 15.12.2025 г.)

Москва-2025

Рабочая программа дисциплины «Изотопный анализ в морской геологии» разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Геология», утвержденным приказом по МГУ от 21.12.2021 № 1404 (в действующей редакции).

Год (годы) приема на обучение: 2025

© Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

*Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета.*

### **Цель и задачи дисциплины**

**Целью курса** "Изотопный анализ в морской геологии" является формирование у магистрантов углубленных знаний по изотопной геохимии, включая общие теоретические основы, понимание поведения изотопов в природных процессах, а также методов их изучения.

#### **Задачи:**

- освоение теоретических основ разделения стабильных изотопов углерода, кислорода, водорода и серы в процессе морского осадконакопления и постседиментационных преобразований морских отложений;
- ознакомление с современными достижениями в области геохимии стабильных изотопов осадочных пород и флюидов;
- знакомство с методами изотопной геохимии и опытом его применения в морской геологии;
- ознакомление с современными методами комплексной интерпретации изотопных данных при решении вопросов условий образования и источника вещества для морских осадочных пород.

#### **Краткое содержание дисциплины (аннотация):**

В рамках курса рассматриваются базовые понятия: строение атомов, изотопы элементов, фракционирование стабильных изотопов. Обсуждаются направления применения геохимии стабильных изотопов в геологии, в частности, в морской геологии. Рассматриваются факторы, определяющие изотопный состав легких элементов в воде, осадочных породах, органическом веществе. Изучаются закономерности перераспределения стабильных изотопов в процессе осадконакопления и постседиментационных преобразований.

На лабораторных занятиях студенты знакомятся с оборудованием, на котором проводятся измерения изотопного состава легких элементов в разных веществах, производится интерпретация получаемых значений изотопного состава для разных объектов.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП – относится к вариативной части ОПОП, является обязательной для освоения.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия:

базируется на знаниях по дисциплинам «Общая геология», «Химия общая», «Литология», «Геохимия общая», «Стадиальный анализ литогенеза», «Морская геология», «Океанология».

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

| Компетенции выпускников (коды)                                                                                                                                                            | Индикаторы достижения компетенций                                                                                                                                                                                    | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с индикаторами достижения компетенций                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-2.М. Способен применять на практике знания фундаментальных и прикладных разделов дисциплин, определяющих профиль подготовки при решении задач профессиональной деятельности.          | <b>М.ОПК-2. И-1.</b> Использует на практике знания фундаментальных и прикладных разделов дисциплин, определяющих профиль подготовки, при решении исследовательских и прикладных задач профессиональной деятельности. | <p><b>Знать:</b> физико-химические законы, управляющие поведением изотопов легких элементов в природных процессах. Основные факторы и физико-химические процессы преобразования пород и флюидов в ходе осадконакопления и постседиментационных преобразований осадочного вещества; методы измерения изотопного состава легких элементов в различных природных объектах: вода, морские осадки, аутигенные минералы, углеводородные флюиды и др.; изотопные стандарты, которые используются при анализе различных легких элементов.</p> <p><b>Уметь:</b> использовать данные изотопного состава легких элементов для определения условий осадконакопления и диагенетических преобразований вещества.</p> |
| ОПК-4 М Способен в процессе решения профессиональных задач самостоятельно получать, интерпретировать и обобщать результаты, разрабатывать рекомендации по их практическому использованию. | <b>М.ОПК-4. И-2.</b> Объективно оценивает полученные результаты, обобщает их, формулирует выводы.                                                                                                                    | <p><b>Знать:</b> возможности и ограничения изотопных методов исследования в морской геологии; взаимосвязь и взаимообусловленность геолого-экологических изменений в литосфере и биосфере; практическое применение изотопных методов в морской геологии.</p> <p><b>Уметь:</b> выполнять интерпретацию изотопных данных (углерод, кислород, водород, сера) вещества осадочных пород и флюидов.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

|                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| СПК-2.М Способность проводить лабораторные исследования осадочных образований, как традиционными, так и новейшими методами анализа, в том числе рентгеновскими, микрозондовыми, изотопными, электронно-микроскопическими. | Знает методические приемы изучения осадочных пород с помощью традиционных и высокоточных технологий. | <b>Знать:</b> теоретические основы устройства масс-спектрометров и методов подготовки проб к изотопному анализу; основные задачи и методы изотопной геохимии; возможности и ограничения изотопных методов в морских исследованиях; практическое применение изотопных методов в морской геологии; формулы пересчета изотопных значений для реальных образцов относительно международных и лабораторных стандартов.<br><b>Уметь:</b> проводить изотопные исследования морских осадков, осадочных пород, флюидов; выполнять интерпретацию изотопных данных (углерод, кислород, водород, сера) вещества осадочных пород и флюидов. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., в том числе 28 академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем (семинары), 44 академических часа на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – экзамен. (10 семестр).

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

| Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), | Всего (часы) | В том числе                                                                                             |                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                       |              | Контактная работа<br>(работа во взаимодействии с преподавателем)<br><i>Виды контактной работы, часы</i> | Самостоятельная работа обучающегося<br><i>Виды самостоятельной работы, часы</i> |

| Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)                                                                                                         |    | Занятия лекционного типа | Занятия лабораторного типа | Занятия семинарского типа | Всего | Расчетно-графические работы | Работа с литературой (включая подготовку доклада) | Подготовка реферата | Подготовка к контрольному опросу | Всего |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|--------------------------|----------------------------|---------------------------|-------|-----------------------------|---------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------|-------|
| Тема (раздел) 1. Введение. Базовые понятия: что такое изотоп элемента. Применение стабильных изотопов в геологии.                                             | 4  | 1                        |                            | 1                         | 2     |                             | 2                                                 |                     |                                  | 2     |
| Тема (раздел) 2 Процессы разделения стабильных изотопов в природе. Изотопные эффекты. Применение изотопов в литологии.                                        | 5  | 1                        |                            | 1                         | 2     |                             | 3                                                 |                     |                                  | 3     |
| Тема (раздел) 3 Изотопы кислорода и водорода в гидросфере.                                                                                                    | 14 | 1                        |                            | 1                         | 2     |                             | 3                                                 | 9                   |                                  | 12    |
| Тема (раздел) 4 Седиментогенез. Факторы, определяющие изотопный состав углерода и кислорода осадочных карбонатов. Расчет палеотемператур по изотопным данным. | 5  | 1                        |                            | 1                         | 2     |                             | 3                                                 |                     |                                  | 3     |
| Тема (раздел) 5 Седиментогенез. Изотопный состав кислорода, водорода, серы некарбонатных осадков.                                                             | 5  | 1                        |                            | 1                         | 2     |                             | 3                                                 |                     |                                  | 3     |
| Тема (раздел) 6 Изотопный состав углерода органического вещества.                                                                                             | 14 | 1                        |                            | 1                         | 2     |                             | 3                                                 | 9                   |                                  | 12    |
| Тема (раздел) 7 Диагенез. Баланс и основные источники углерода,                                                                                               | 5  | 1                        |                            | 1                         | 2     |                             | 3                                                 |                     |                                  | 3     |

|                                                                                                                                                                                                             |           |   |  |   |          |  |   |   |  |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---|--|---|----------|--|---|---|--|-----------|
| кислорода и серы в осадках в условиях диагенеза.                                                                                                                                                            |           |   |  |   |          |  |   |   |  |           |
| Тема (раздел) 8 Диагенез. Основные процессы и факторы, определяющие формирование изотопного состава углерода, кислорода, серы и водорода аутигенных минералов.                                              | <b>4</b>  | 1 |  | 1 | <b>2</b> |  | 2 |   |  | <b>2</b>  |
| Тема (раздел) 9 Катагенез. Пресноводно-инфильтрационный катагенез: изотопный состав углерода и кислорода вторичных карбонатов. Гравитационно-рассольный катагенез: доломитизация и вторичная кальцитизация. | <b>13</b> | 1 |  | 1 | <b>2</b> |  | 2 | 9 |  | <b>11</b> |
| Тема (раздел) 10 Катагенез. Элизионный катагенез: характерные особенности формирования изотопного состава вторичных карбонатов на разных стадиях (этапах) катагенеза погружения осадков.                    | <b>4</b>  | 1 |  | 1 | <b>2</b> |  | 2 |   |  | <b>2</b>  |
| Тема (раздел) 11 Знакомство с оборудованием для изотопных исследований. Рассмотрение основных методик изотопных исследований.                                                                               | <b>4</b>  | 2 |  |   | <b>2</b> |  | 2 |   |  | <b>2</b>  |
| Тема (раздел) 12 Проведение изотопного анализа карбонатных образцов, интерпертация и обсуждение полученных результатов.                                                                                     | <b>17</b> | 1 |  | 1 | <b>2</b> |  | 6 | 9 |  | <b>15</b> |

|                                            |            |                       |  |   |   |           |   |   |  |    |
|--------------------------------------------|------------|-----------------------|--|---|---|-----------|---|---|--|----|
| Текущая аттестация: <i>защита реферата</i> | 14         |                       |  | 2 | 2 |           | 6 | 6 |  | 12 |
| Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>    |            | <i>Устный экзамен</i> |  |   |   |           |   |   |  |    |
| <b>Итого</b>                               | <b>108</b> | <b>26</b>             |  |   |   | <b>82</b> |   |   |  |    |

## Развернутое содержание тем и разделов дисциплины

### Содержание лекций:

#### Раздел 1-3. Теоретические и методические основы изотопной геохимии

Предмет изотопной геологии. Внутреннее строение атомов, протоны и нейтроны, стабильность ядер и распространенность изотопов. Главные причины вариаций распространенности изотопов. Применение изотопов в науках о Земле.

Понятие о радиогенных и стабильных изотопах, правила распространенности нуклидов в природе. Процессы разделения изотопов в природе. Использование изотопной геохимии для решения геологических задач. Международные стандарты, применяемые в геохимии стабильных изотопов.

Фракционирование стабильных изотопов легких элементов. Природные процессы, приводящие к фракционированию. Основные понятия, зависимости и способы выражения концентраций изотопов. Фракционирование, коэффициент фракционирования. Изотопные эффекты. Термодинамический (равновесный) и кинетический изотопные эффекты. Международные изотопные стандарты.

#### Раздел 4-6. Седиментогенез

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. Методика исследования изотопного состава углерода и кислорода в карбонатных образцах.

Основные процессы разделения изотопов углерода, кислорода и водорода в некарбонатных минералах. Палеотермометры на их основе. Изотопный состав углерода органического вещества. Методика исследования изотопного состава углерода в органическом веществе и нефтях.

#### Раздел 7-10. Литогенез

Диагенез. Основные процессы разделения изотопов углерода и кислорода в карбонатных осадках в диагенезе. Перераспределение стабильных изотопов при диагенезе терригенных осадков.

Катагенез. Основные классификации, границы зон катагенеза. Особенности перераспределения стабильных изотопов при инфильтрационных процессах. Основные процессы разделения изотопов углерода, кислорода, серы при элизионном катагенезе. Факторы, контролирующие изотопный состав углерода, кислорода и серы пород в условиях катагенеза в присутствии рассолов.

#### Раздел 11-12. Методы изотопных исследований

Знакомство с оборудованием для пробоподготовки и проведения изотопного анализа, включая непосредственно изотопный масс-спектрометр, газовый хроматограф, приставку Gas Bench, элементный анализатор.

Проведение изотопного анализа образцов карбонатных пород с последующей обработкой и интерпретацией полученных результатов.

### **Содержание семинаров:**

#### **Раздел 1-3. Теоретические и методические основы изотопной геохимии**

**Основы и прикладные аспекты изотопной геологии:** от ядерной структуры атомов и правил распространенности нуклидов в природе до механизмов фракционирования стабильных изотопов (термодинамического и кинетического эффектов), методов выражения концентраций через международные стандарты и практического применения изотопной геохимии в решении генетических и хронологических задач наук о Земле.

#### **Раздел 4-6. Седиментогенез**

**Изотопная геохимия карбонатов и органического вещества:** механизмы фракционирования изотопов углерода, кислорода и водорода при формировании морских, пресноводных и биогенных карбонатов, факторы вариаций изотопного состава некарбонатных минералов, специфика изотопии органики и нефтей, а также методология изотопных исследований и принципы расчета палеотемператур в геохронологических реконструкциях.

#### **Раздел 7-10. Литогенез**

**Изотопные трансформации в процессах литогенеза:** закономерности перераспределения стабильных изотопов углерода, кислорода и серы при диагенезе карбонатных и терригенных осадков, специфика изотопного фракционирования в зонах катагенеза при инфильтрационном и элизионном режимах, а также влияние рассолов и фациальных условий на формирование изотопного облика осадочных пород.

#### **Раздел 11-12. Методы изотопных исследований**

**Лабораторно-практический комплекс изотопного анализа:** техническое оснащение современных исследований, включая работу с изотопными масс-спектрометрами, газовыми хроматографами, приставками Gas Bench и элементными анализаторами, а также освоение полного цикла пробоподготовки, измерения и последующей интерпретации данных по изотопному составу карбонатных пород.

6. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю):

#### **6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.**

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется при защите рефератов и контрольных опросах.

Примерный перечень вопросов (тестов) для проведения текущего контроля:

1. Основные физико-химические процессы изотопного фракционирования химических элементов.

2. Принцип масс-спектрометрических измерений. Методика подготовки природных проб к изотопному анализу углерода, кислорода, водорода 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 относительной единицы дельта ( $\delta$ ).
5. Изотопные характеристики природных вод: морских, пресных, эвапоритовых бассейнов.
6. Основные процессы и этапы разделения изотопов углерода при образовании осадочных и биогенных карбонатов.
7. Факторы, определяющие изотопный состав кислорода осадочных карбонатов.
8. Расчет палеотемператур по изотопным данным.
9. Изотопный состав морских и пресноводных карбонатов, образованных в разных природных условиях.
10. Изотопный состав углерода органического вещества, нефтей и углеводородных газов.
11. Основные источники углерода, кислорода и серы в зоне диагенеза и их изотопные характеристики.
12. Основные процессы и факторы, определяющие формирование изотопного состава углерода и кислорода аутигенных карбонатов зоны диагенеза.
13. Сульфат-редукция. Основные процессы и факторы, определяющие формирование изотопного состава серы аутигенных пиритов зоны диагенеза.
14. Катагенез погружения: эволюция изотопных углекислотно-водных систем.
15. Катагенез погружения: преобразование органического вещества, изотопный состав углерода CO<sub>2</sub> зоны катагенеза.
16. Изотопный состав аутигенных карбонатов зоны катагенеза осадочно-породных бассейнов.
17. Инфильтрационные процессы: изотопный состав углерода и кислорода вторичных карбонатов.
18. Почвенные карбонаты: изотопный состав и факторы, его определяющие.
19. Гравитационно-рассольный катагенез: доломитизация, изотопные характеристики доломитов.

*Примерный перечень тем рефератов (не менее 10 тем):*

1. Основные физико-химические процессы изотопного фракционирования химических элементов.
2. Изотопные характеристики природных вод: морских, пресных, эвапоритовых бассейнов.
3. Основные процессы и этапы разделения изотопов углерода при образовании осадочных и биогенных карбонатов. Факторы, определяющие их изотопный состав.
4. Изотопный состав углерода органического вещества, нефтей и углеводородных газов.
5. Основные источники углерода, кислорода и серы в зоне диагенеза и их изотопные характеристики.

6. Основные процессы и факторы, определяющие формирование изотопного состава углерода и кислорода аутигенных карбонатов зоны диагенеза.
7. Сульфат-редукция. Основные процессы и факторы, определяющие формирование изотопного состава серы аутигенного пирита зоны диагенеза.
8. Катагенез погружения: эволюция изотопных углекислотно-водных систем.
9. Катагенез погружения: преобразование органического вещества, изотопный состав углерода  $\text{CO}_2$  зоны катагенеза.
10. Инфильтрационные процессы: изотопный состав углерода и кислорода вторичных карбонатов. Почвенные карбонаты: изотопный состав и факторы, его определяющие.
11. Связь стабильности атомных ядер с распространенностью изотопов в Солнечной системе.
12. Правила Оддо-Гаркинса и изотопный состав земной коры.
13. Кинетический и термодинамический изотопные эффекты: физико-химическая природа различий.
14. Международные эталоны в изотопной геохимии: от PDB до современных стандартов МАГАТЭ.
15. Роль биологического фракционирования в формировании изотопного состава углерода биосферы.
16. Изотопная палеотермометрия: история метода и современные калибровки по карбонатам.
17. Различия изотопного состава кислорода и углерода в морских и пресноводных бассейнах.
18. Изотопная геохимия водорода и кислорода в некарбонатных минералах (глины, кварц, полевые шпаты).
19. Генетические типы нефтей по данным изотопного состава углерода фракций.
20. Фракционирование изотопов серы при бактериальной сульфатредукции в осадках.
21. Изотопные маркеры диагенеза карбонатных илов: как меняется первичный сигнал.
22. Перераспределение стабильных изотопов при катагенезе терригенных толщ.
23. Влияние элизионных процессов на изотопный состав поровых вод и вмещающих пород.
24. Изотопная зональность минералообразования в условиях инфильтрационного катагенеза.
25. Роль рассолов в трансформации изотопного состава кислорода и серы при глубоком погружении пород.
26. Устройство и принцип работы магнитного секторного масс-спектрометра.
27. Методы ввода проб Gas Bench и элементного анализатора (EA) в изотопном анализе.
28. Применение газовой хроматографии для разделения смесей перед изотопным масс-спектрометрическим анализом.
29. Проблемы пробоподготовки карбонатных образцов для определения микропримесей изотопов.
30. Интерпретация изотопных данных при реконструкции обстановок древнего осадконакопления.

### Шкала и критерии оценивания по текущему контролю

| Результаты обучения,<br>соответствующие виды<br>оценочных средств                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | «Неудовлетворительно» | «Удовлетворительно»                                                                              | «Хорошо»                                           | «Отлично»              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------|
| <b>Знания. Знать:</b> физико-химические законы, управляющие поведением изотопов легких элементов в природных процессах. Основные факторы и физико-химические процессы преобразования пород и флюидов в ходе осадконакопления и литогенеза; методы измерения изотопного состава легких элементов в различных природных объектах; изотопные стандарты, которые используются при анализе различных легких элементов. | Знания отсутствуют    | Фрагментарные знания                                                                             | Общие, но не структурированные знания              | Систематические знания |
| <b>Умения. Уметь:</b> использовать данные изотопного состава легких элементов для восстановления истории преобразования вещества в ходе                                                                                                                                                                                                                                                                           | Умения отсутствуют    | В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности непринципиального характера | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы. | Успешное умение.       |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                             |                                                             |                                |                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| природных физико-химических процессов.                                                                                                                                                                                                                                                                         |                             |                                                             |                                |                                     |
| <b>Навыки (владения, опыт деятельности)</b><br><b>Владеть:</b> принципами построения и использования изотопно-геохимических моделей при реконструкции условий седименто- и литогенеза; системным подходом при комплексных геологических и изотопно-геохимических исследованиях осадочных пород, руд и флюидов. | Навыки владения отсутствуют | Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков | В целом сформированные навыки. | Свободное владение и использование. |

## 6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации (экзамен).

*Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации:*

1. Основные физико-химические процессы изотопного фракционирования химических элементов.
2. Принцип масс-спектрометрических измерений. Методика подготовки природных проб к изотопному анализу углерода, кислорода, водорода 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 относительной единицы дельта ( $\delta$ ).
5. Изотопные характеристики природных вод: морских, пресных, эвапоритовых бассейнов.
6. Основные процессы и этапы разделения изотопов углерода при образовании осадочных и биогенных карбонатов.
7. Факторы, определяющие изотопный состав кислорода осадочных карбонатов.
8. Расчет палеотемператур по изотопным данным.

9. Изотопный состав морских и пресноводных карбонатов, образованных в разных природных условиях.
10. Изотопный состав углерода органического вещества, нефтей и углеводородных газов.
11. Основные источники углерода, кислорода и серы в зоне диагенеза и их изотопные характеристики.
12. Основные процессы и факторы, определяющие формирование изотопного состава углерода и кислорода аутигенных карбонатов зоны диагенеза.
13. Сульфат-редукция. Основные процессы и факторы, определяющие формирование изотопного состава серы аутигенных пиритов зоны диагенеза.
14. Катагенез погружения: эволюция изотопных углекислотно-водных систем.
15. Катагенез погружения: преобразование органического вещества, изотопный состав углерода CO<sub>2</sub> зоны катагенеза.
16. Изотопный состав аутигенных карбонатов зоны катагенеза осадочно-породных бассейнов.
17. Инфильтрационные процессы: изотопный состав углерода и кислорода вторичных карбонатов.
18. Почвенные карбонаты: изотопный состав и факторы, его определяющие.
19. Гравитационно-рассольный катагенез: доломитизация, изотопные характеристики доломитов.

**Шкала и критерии оценивания (шкала и критерии оценивания могут быть едиными (типовыми) для всех дисциплин (модулей), входящих в ОПОП)**

| Результаты обучения, соответствующие виды оценочных средств                                                                                                                                                               | «Неудовлетворительно» | «Удовлетворительно»  | «Хорошо»                              | «Отлично»              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------------------|------------------------|
| <b>Знания</b> Знать: фундаментальные понятия изотопной геохимии, включая строение атомов, механизмы фракционирования стабильных изотопов легких элементов и факторы, определяющие их состав в воде, органическом веществе | Знания отсутствуют    | Фрагментарные знания | Общие, но не структурированные знания | Систематические знания |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                    |                                                                                                  |                                                    |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------|
| и осадочных породах. Это подразумевает понимание теоретических основ распределения изотопных меток в процессах седименто- и литогенеза, а также принципов работы аналитического оборудования для масс-спектрометрических измерений.                                                                                                                                               |                    |                                                                                                  |                                                    |                  |
| <b>Умения</b> Уметь: интерпретировать данные изотопного состава различных геологических объектов для решения задач литологии и реконструкции условий осадконакопления. Вы сможете анализировать результаты измерений, выявлять закономерности перераспределения изотопов в ходе преобразования вещества и использовать эти показатели как индикаторы физико-химических обстановок | Умения отсутствуют | В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности непринципиального характера | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы. | Успешное умение. |

|                                                                                                                                                                                                    |                             |                                                             |                                |                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| в литосфере и гидросфере.                                                                                                                                                                          |                             |                                                             |                                |                                     |
| <b>Навыки (владения, опыт деятельности)</b><br><b>Владеть:</b> методиками обработки и первичной интерпретации результатов изотопного анализа, полученных на современном лабораторном оборудовании. | Навыки владения отсутствуют | Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков | В целом сформированные навыки. | Свободное владение и использование. |

#### 7. Ресурсное обеспечение:

##### а) основная литература:

1. Бродский А.И. Химия изотопов. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 352 с. Есть печатное издание.
2. Галимов Э.М. Геохимия стабильных изотопов углерода. М.: Недра, 1968. 226 с. Есть печатное и электронное издания.
3. Дегенс Э.Т. Распределение устойчивых изотопов в карбонатах // Карбонатные породы: физико-химическая характеристика и методы исследования. М.: Мир, 1971. Т. 2. С. 141-153.
4. Фор Г. Основы изотопной геологии: Пер. с англ.- М.: Мир, 1989. 590 с. Есть печатное и электронное издания.
5. Zachary Sharp. Principles of stable isotope geochemistry. 2017. <https://doi.org/10.25844/h9q1-0p82>. Есть электронное издание.

##### 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. 1996б, 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.

в) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

- реферативная база данных издательства Elsevier: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

г) перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

- - поисковая система научной информации [www.scopus.com](http://www.scopus.com)

- электронная база научных публикаций [www.webofscience.com](http://www.webofscience.com)

д) Материально-технического обеспечение:

Учебная аудитория с мультимедийным проектором, компьютером, экраном.

8. Язык преподавания – русский

9. Преподаватель (преподаватели) – Мальцева А.Ю.

10. Разработчики программы: ведущий научный сотрудник Геологического института РАН, д.г.-м.н., В.Н. Кулешов, инженер кафедры нефтегазовой седиментологии и морской геологии, к.г.-м.н., Мальцева А.Ю.