

«УТВЕРЖДАЮ»  
Декан геологического факультета МГУ  
академик Д.Ю. Пущаровский  
«2» сентября 2015 года



### Рабочая программа дисциплины (модуля) **Геохимия стабильных изотопов**

1. Код и наименование дисциплины (модуля) **Геохимия стабильных изотопов**
2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.
3. Направление подготовки 05.06.01. Науки о Земле. Направленность программы Геохимия, геохимические методы поиска полезных ископаемых.
4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП Относится к вариативной части, курс по выбору в 3 семестре второго года обучения
5. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

**ЗНАТЬ:**

современные способы использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности

Шифр З (ОПК-1)-1

**УМЕТЬ:**

выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования

Шифр: У (ОПК-1)-1

<p>ВЛАДЕТЬ:  навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований  Шифр: В (ОПК-1) -1</p>
<p>ВЛАДЕТЬ:  навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов    Шифр: В (ОПК-1) -2</p>
<p>ВЛАДЕТЬ:  навыками представления и продвижения результатов интеллектуальной деятельности  Шифр: В (ОПК-1) -3</p>
<p>ЗНАТЬ:  нормативно-правовые основы преподавательской деятельности в системе высшего образования    3 (ОПК-2)-1</p>
<p>ЗНАТЬ:  требования к квалификационным работам бакалавров, специалистов, магистров  Шифр 3 (ОПК-2)-2</p>
<p>УМЕТЬ:  осуществлять отбор и использовать оптимальные методы преподавания  У (ОПК-2)-1</p>
<p>ЗНАТЬ:  принципы проведения фундаментальных исследований в области геохимии  Шифр 3 (ПК-1)-1</p>
<p>УМЕТЬ:  ставить и решать задачи по петрологическому изучению отдельных регионов на основании полевых и дистанционных методов наблюдений  Шифр: У (ПК-1)-1</p>
<p>УМЕТЬ:  формулировать актуальные проблемы геохимии, критически оценивать их общенаучную значимость и возможность их решения на современном уровне развития науки  Шифр: У (ПК-1)-2</p>

Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) приведены в Приложении.

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины (модуля) составляет 6 зачетных единиц, всего 218 часов, из которых 28 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (24 часов занятия лекционного типа, 4 часа групповые консультации, 4 часа мероприятия текущего контроля успеваемости, мероприятия промежуточной аттестации, 160 часов составляет самостоятельная работа аспиранта.

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (*если есть*). отсутствуют

8. Образовательные технологии (отметить если применяется электронное обучение и дистанционные технологии). Применяется электронное обучение.

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

#### **Аннотация.**

Курс посвящен изложению теоретических основ геохимии стабильных изотопов и применению изотопных методов в геолого-геохимических исследованиях. Кратко излагаются современные методы измерения изотопного состава вещества природных объектов. Даются способы выражения изотопного состава элементов, принятые в современной геохимии. Рассмотрены законы фракционирования изотопов в природных процессах, образования стабильных изотопов из радиоактивных предшественников. Излагаются основные методы изотопной геохронологии, особенности интерпретации данных и требования к датируемому веществу. Рассмотрена изотопная геохимия наиболее изученных легких элементов (H, C, O, S). Особое место в программе курса уделено явлениям масс-независимого фракционирования, и интерпретации таких данных в геологических исследованиях.

Наименование и краткое содержание	Всего (часы)	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с	Самостоятельная работа

разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)		преподавателем), часы из них					обучающегося, часы из них			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.)*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..	Всего
1. Понятие о радиогенных, радиоактивных и стабильных изотопах, правила распространённости нуклидов в природе. Процессы разделения изотопов в природе. Применение изотопов в науках о Земле.	56	6	0	0	0		2			
2. Предмет изотопной геологии. Внутреннее строение атомов, протоны и нейтроны, дефект массы, стабильность ядер и распространённость изотопов. Механизмы	56	8		0	2		8	12		

распада радиоактивных атомов. Главные причины вариаций распространенности изотопов. Основные разделы изотопной геологии: изотопная геохронология и геохимия изотопов.										
3. Исторический экскурс. Возраст Земли и история решения вопроса. Открытие явления радиоактивности и первые опыты его использования в геологии. Открытие фракционирования изотопов легких элементов. Изобретение масс-спектрометра и развитие методов изотопных исследований.	56	8					2	10		
4. Фракционирование стабильных изотопов легких элементов. Природные процессы, приводящие к	56	8				2	6	10		

фракционированию. Основные понятия, зависимости и способы выражения концентраций изотопов. Фракционирование и смешение. Стационарные процессы. Коэффициент фракционирования. Изотопное отношение. Изотопный эффект. Изотопный сдвиг. Равновесное и кинетическое фракционирование. Выражение концентраций изотопов. Международные стандарты..											
Промежуточная аттестация _____	Зачет	2						XX			
Итого	218	24				4		160			

10. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы аспирантов.

11. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и дополнительной учебной литературы
- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»
- Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости):
- Описание материально-технической базы.

#### Список литературы

1. Dickin A.P. Radiogenic isotope geology. 2nd ed., Cambridge University Press, 2005, 492 p. (доступна на <http://www.onafarawayday.com/Radiogenic>)
2. Титаева Н.А. Ядерная геохимия. Учебник. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2000, 336 с.
3. Покровский Б.Г. Коровая контаминация мантийных магм по данным изотопной геохимии. М.: Наука, 2000, 228 с.
4. В.И. Ферронский, В.А. Поляков. Изотопия гидросферы Земли. М.: Научный мир, 2009, 632 с.
5. Г. Фор. Основы изотопной геологии. М.: Мир, 1989, 590 с.
6. Hoefs J. Stable isotope geochemistry (5th ed.). Springer, 2004, 244 p.
7. Sharp Z. Principles of stable isotope geochemistry. Pearson ed., 2007, New Jersey, 344 p.
8. Criss R. Principles of stable isotope distribution. Oxford, New York, 1999, 254 p.
9. Fry B. Stable isotope ecology. Springer, 2006, 308 p.

Материально-техническое обеспечение дисциплины

Оборудование

Компьютерный класс на 6-7 мест, оборудованный персональными компьютерами, мультимедийный проектор и экран для демонстрации презентаций.

12. Язык преподавания. Русский.

13. Преподаватель (преподаватели).

Кафедра геохимии

геологического факультета профессор А.Ю.Бычков

МГУ имени М.В.Ломоносова

Рабочий телефон, мобильный телефон, e-mail: 939-1239, bychkov@geol.msu.ru

Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) Геохимия стабильных изотопов  
на основе карт компетенций выпускников

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине	КРИТЕРИИ и ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине					ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА
	1	2	3	4	5	
ЗНАТЬ: современные способы использования информационно- коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности Шифр 3 (ОПК-1)-1	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современных способах использования информационно- коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности	В целом успешные, но не систематические представления о современных способах использования информационно- коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности	В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы, представления о современных способах использования информационно- коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности	Сформированные представления о современных способах использования информационно- коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности	Реферат
УМЕТЬ: выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно- теоретические	Отсутствие умений	Фрагментарное использование умения выбирать и использовать экспериментальные и расчетно- теоретические методы для	В целом успешное, но не систематическое использование умения выбирать и использовать экспериментальные и расчетно-	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование умения выбирать и использовать экспериментальные и расчетно-	Сформированное умение выбирать и использовать экспериментальные и расчетно- теоретические методы для решения научной	Устный опрос

методы исследования  Шифр: У (ОПК-1)-1		решения научной задачи	теоретические методы для решения научной задачи	теоретические методы для решения научной задачи	задачи	
ВЛАДЕТЬ: навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований Шифр: В (ОПК-1) - 1	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков поиска и критического анализа научной и технической информации	В целом успешное, но не систематическое применение навыков поиска и критического анализа научной и технической информации	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков поиска и критического анализа научной и технической информации	Успешное и систематическое применение навыков поиска и критического анализа научной и технической информации	Реферат с докладом на семинаре
ВЛАДЕТЬ: навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и	В целом успешное, но не систематическое применение навыков планирования научного исследования, анализа	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков планирования научного исследования, анализа получаемых	Успешное и систематическое применение навыков планирования научного исследования, анализа получаемых	Устный опрос

ВЫВОДОВ  Шифр: В (ОПК-1) - 2		формулировки выводов	получаемых результатов и формулировки выводов	результатов и формулировки выводов	результатов и формулировки выводов	
ВЛАДЕТЬ: навыками представления и продвижения результатов интеллектуальной деятельности Шифр: В (ОПК-1) - 3	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков представления и продвижения результатов интеллектуальной деятельности	В целом успешное, но не систематическое применение навыков представления и продвижения результатов интеллектуальной деятельности	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков представления и продвижения результатов интеллектуальной деятельности	Успешное и систематическое применение навыков представления и продвижения результатов интеллектуальной деятельности	Реферат
ЗНАТЬ: нормативно-правовые основы преподавательской деятельности в системе высшего образования  3 (ОПК-2)-1	Отсутствие знаний	фрагментарные представления об основных требованиях, предъявляемых к преподавателям в системе высшего образования	сформированные представления о требованиях, предъявляемых к обеспечению учебной дисциплины и преподавателю, ее реализующему в системе ВО	сформированные представления о требованиях к формированию и реализации учебного плана в системе высшего образования	сформировать представления о требованиях к формированию и реализации ООП в системе высшего образования	Реферат
ЗНАТЬ: требования к квалификационным работам бакалавров, специалистов,	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о требованиях к квалификационным работам	Неполные представления о требованиях к квалификационным работам	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о требованиях к	Сформированные систематические представления о требованиях к квалификационным	Устный опрос

магистров Шифр 3 (ОПК-2)-2		бакалавров, специалистов, магистров	бакалавров, специалистов, магистров	квалификационным работам бакалавров, специалистов, магистров	работам бакалавров, специалистов, магистров	
УМЕТЬ: осуществлять отбор и использовать оптимальные методы преподавания У (ОПК-2)-1	Отсутствие умений	отбор и использование методов, не обеспечивающих освоение дисциплин	отбор и использование методов преподавания с учетом специфики преподаваемой дисциплины	отбор и использование методов с учетом специфики направленности (профиля) подготовки	отбор и использование методов преподавания с учетом специфики направления подготовки	Устный опрос
ЗНАТЬ: принципы проведения фундаментальных исследований в области геохимии Шифр 3 (ПК-1)-1	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания принципов проведения фундаментальных исследований в области геохимии	Неполные знания принципов проведения фундаментальных исследований в области геохимии	Сформулированные, но содержащие отдельные пробелы знания принципов проведения фундаментальных исследований в области геохимии	Сформированные представления о принципах проведения фундаментальных исследований в области геохимии	Реферат
УМЕТЬ: ставить и решать задачи по петрологическому изучению отдельных регионов на основании полевых и дистанционных методов наблюдений	Отсутствие умений	Испытывает затруднения с постановкой и решением задач по петрологическому изучению отдельных регионов на основании полевых и дистанционных	Умение ставить задачи по петрологическому изучению отдельных регионов на основании полевых и дистанционных методов	Умение решать задачи по петрологическому изучению отдельных регионов на основании полевых и дистанционных методов наблюдений	Постановка и решение задач по петрологическому изучению отдельных регионов на основании полевых и дистанционных методов наблюдений	Расчетное домашнее задание

Шифр: У (ПК-1)-1		методов наблюдений				
УМЕТЬ: формулировать актуальные проблемы геохимии, критически оценивать их общенаучную значимость и возможность их решения на современном уровне развития науки Шифр: У (ПК-1)-2	Отсутствие умений	Затруднения с формулировкой актуальных проблем геохимии, критической оценкой их общенаучной значимости и возможности решения на современном научном уровне	Умение формулировать в целом актуальные проблемы геохимии без оценки их значимости и возможности решения на современном научном уровне в рамках своей специализации	Умение формулировать актуальные проблемы геохимии, а также способность критически оценивать некоторые их аспекты с точки зрения общенаучной значимости и возможности решения на современном уровне науки	Формулировка актуальных проблем геохимии, критическая оценка их общенаучной значимости и возможности их решения на современном уровне науки	Реферат

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

*Перечень контрольных вопросов и задач*

1. Вариации изотопов легких элементов в природных объектах. Понятие изотопного резервуара. Масштабы природных вариаций стабильных изотопов легких элементов в природных резервуарах. Распространенность, особенности поведения и способы измерения изотопного состава разных элементов в природных объектах. Изотопы углерода, азота, серы в экосистемах. Обзор природных вариаций изотопов лития, бора, хлора.

2. Принципы изотопного анализа O, C, H, S, N. Методы подготовки проб для изотопного анализа легких элементов. Изотопный анализ воды, карбонатов, силикатов. Принципы изотопной масс-спектрометрии. Масс-спектрометрия в режиме двойного напуска. Масс-спектрометрия в непрерывном потоке гелия. Рабочий эталон и международная шкала для выражения изотопного состава элементов.
3. Изотопы кислорода и водорода в гидросфере Земли. Свойства изотопно-замещенных молекул воды. Равновесное и кинетическое фракционирование в системе вода-пар. Закрытая и открытая системы. Релеевская конденсация в изотермической и неизотермической системах как фактор формирования изотопного состава атмосферных осадков. Основные водные резервуары Земли и вариации их изотопного состава.
4. Атмосферные осадки. Глобальная и локальная линии метеорных вод. Влияние среднегодовой, среднемесячной и сезонной температур на формирование изотопного состава атмосферных осадков. Влияние континентального, широтного, высотного и количественного эффектов на формирование изотопного состава атмосферных осадков.
5. Воды океанов. Связь изотопного состава с соленостью. Разбавление океанских поверхностных вод. Испарение с поверхности океана. Изотопный состав глубинных океанских вод.
6. Гидросфера континентов. Изотопная систематика природных вод. Воды ледников. Стратиграфия снега и льда, палеогляциология. Воды морей и замкнутых бассейнов. Испарение и факторы, влияющие на изотопный состав пара и остаточной жидкости. Процессы на границе раздела вода-атмосфера. Поверхностные воды суши и воды зон аэрации, смешение и усреднение изотопного состава вод. Модель усреднения для зон аэрации. Термальные, захороненные и реликтовые воды. Взаимодействие с силикатными и карбонатными породами.
7. Стабильные изотопы N, O и C в атмосфере. Свободный азот атмосферы. Индикаторная роль окислов азота в атмосфере. Кислород в атмосфере. Эффект Дола. Масс-независимое фракционирование изотопов кислорода в атмосфере. Изотопный состав углекислого газа атмосферы. Антропогенный источник CO<sub>2</sub>. Источники и поглотители антропогенного углекислого газа.
8. Изотопная систематика углерода. Изотопное фракционирование углерода при фотосинтезе. C<sub>3</sub> и C<sub>4</sub> типы фотосинтеза. Формы углерода в океане, «биологический насос». Углерод карбонатов и органический углерод. Основные резервуары углерода. Изотопный состав углерода в истории Земли.
9. Биогенные карбонаты. Особенности изотопного состава карбонатов. Изотопные шкалы PDB и SMOW. Принципы изотопной палеотермометрии. Карбонатные термометры. Причины колебаний изотопного состава и температуры палеоокеана. Циклы Миланковича. Изотопный состав кислорода бентосных и планктонных карбонатных организмов. Кинетический и метаболический изотопные эффекты, 8 связанные с жизнедеятельностью. Нарушение изотопной системы карбонатов в процессах диагенеза.
10. Биогенные фосфаты. Фосфатный термометр. Устойчивость фосфатов в диагенезе. Палеорекострукции по костному фосфату хладнокровных и теплокровных животных.

11. Изотопная термометрия. Принцип изотопной термометрии. Зависимость коэффициента фракционирования изотопов от температуры. Свойства уравнений фракционирования. Высокотемпературные безводные системы, системы минерал- вода. Критерии применимости изотопной термометрии. Виды изотопных термометров. Эмпирические термометры. Экспериментальные термометры – методы получения и оценки степени протекания реакций изотопного обмена. Применение изотопно-кислородной термометрии. Диффузионная модель остывания полиминеральной породы. Ретроградный изотопный обмен. Быстро остывающие породы. Термометрия рудных жил. Термометрия метаморфических пород. Скорость остывания пород и уравнение Додсона. Отношение вода-порода.
12. Изотопы серы, фракционирование в неорганических реакциях. Сульфидные изотопные термометры.
13. Изотопы N, H, S в биосфере. Цикл азота в биосфере. Изотопные сдвиги при фиксации и ассимиляции азота, нитрификации и денитрификации. Палеодиета, трофические ступени и пищевые цепи.
14. Водород в биосфере. Водород в организме человека и животных.
15. Кислород живого организма. Изотопный баланс кислорода в организме человека. Вода организма, основные факторы формирования ее изотопного состава кислорода.
16. Изотопы углерода и водорода как трассеры происхождения метана.
17. Биогенная сульфат-редукция. Типы сульфат-редукции. Релеевское фракционирование при сульфат-редукции. Вариации изотопного состава серы морского сульфата во времени. Сера в антропогенных процессах. Антропогенный цикл серы.