

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

**УТВЕРЖДАЮ**  
**Декан Геологического факультета**  
**академик**

\_\_\_\_\_/Д.Ю.Пушаровский/  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20 г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Геохронология**

Авторы-составители: Костицын Ю.А.

**Уровень высшего образования:**

*Магистратура*

**Направление подготовки:**

**05.04.01 Геология**

**Направленность (профиль) ОПОП:**

**Геохимия**

**Магистерская программа:**

**Минералогия**

**Форма обучения:**

*Очная*

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Учебно-методическим Советом Геологического факультета  
(протокол № \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_)

Москва 20\_\_

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Геология» (*программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки*) в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.

Год (годы) приема на обучение – 2019.

© 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**

**Цель** – ознакомить магистрантов с различными изотопными системами (K-Ar, Rb-Sr, Sm-Nd, U-Th-Pb, Lu-Hf и Re-Os) и основами изотопной масс-спектрометрии.

### **В задачи предмета входит освоение следующих разделов знаний:**

- основные понятия о формировании нуклидов в природе;
- причины вариаций изотопных отношений в природе (не путать изотопные эффекты, связанные с масс-зависимым фракционированием изотопов, радиоактивным распадом, спонтанным делением и взаимодействием с быстрыми частицами);
- возможности и ограничения различных методов геохронологии, обусловленные химическими и физическими свойствами соответствующих элементов, их поведением в различных средах;
- области применения различных изотопно-геохимических систем.

**1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО** – вариативная часть, блок дисциплин профессиональный, тип - обязательный (модуль «Минералогия»), 1 г/о, семестр 1.

### **2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:**

Изотопная геохимия играет важную роль в разнообразных геологических и экологических исследованиях. Знание основ геохронологии, возможностей и ограничений в применении различных изотопных систем для датирования тех или иных геологических процессов необходимо каждому геологу любого профиля.

Перечень дисциплин, которые должны быть освоены до начала освоения данной дисциплины: Информатика, Высшая математика, Физика, Общая химия, Физическая химия, Общая геология, Минералогия, Кристаллохимия, Петрология, Генезис месторождений полезных ископаемых, Физическая геохимии, Геохимия и др. Студенты также должны уметь пользоваться компьютером, проводить вычисления, строить графики.

### **3. Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.**

Компетенции выпускников, формируемые (полностью или частично) при реализации дисциплины:

ОПК-4.М Способность применять на практике знания фундаментальных и прикладных разделов дисциплин, определяющих профиль подготовки

### **Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):**

**знать:** причины изменения изотопного состава элементов в природе.

**уметь:** их использовать для определения времени геологических событий, для установления характера источника вещества, его качественных химических параметров, для оценок пропорций смешения вещества из источников с контрастным изотопным составом, для оценок температур равновесия минералов и для решения других задач изотопной геохимии. Понимать смысл модельного возраста в разных изотопных системах, уметь его вычислять и применять для решения геологических задач.

**владеть:** аппаратом вычисления возраста с помощью разных изотопных систем, расчёта начальных изотопных отношений и производных величин, понимать и предвидеть причины возможных нарушений, искажений изотопных систем и уметь объективно оценивать надёжность получаемых результатов.

**4. Формат обучения** – лекционные и семинарские занятия.

**5. Объем дисциплины (модуля)** составляет **6** з.е., в том числе **84** академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (**28** часов – лекции, **56** часов – занятия семинарского типа), **132** академических часа на самостоятельную работу

обучающихся. Формы текущего контроля - дискуссии, устные опросы, сдача расчетно-графических работ. . Форма промежуточной аттестации – экзамен.

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

**Краткое содержание дисциплины (аннотация):**

В курсе излагаются основы современной изотопной геохимии и геохронологии.

Рассматриваются причины вариаций изотопного состава элементов в природе. Рассматриваются принципы геохимии стабильных изотопов на примере изотопных вариаций кислорода. Студенты осваивают принципы применения радиоактивного распада для измерения геологического времени. Освещаются принципы современного изотопного анализа, основы изотопной масс-спектрометрии, применение метода изотопного разбавления. Последовательно рассматриваются изотопные системы, наиболее широко применяемые в современной изотопной геохронологии: K-Ar, включая модификацию  $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$ , Rb-Sr, Sm-Nd, U-Th-Pb, Lu-Hf, Re-Os. Особое внимание уделяется пределам практического применения каждого метода на основе конкретных примеров. Освещаются проблемы геохимии радиогенных изотопов Sr, Pb, Nd, Hf, Os, Ar – использование радиогенных изотопов как критериев планетарных источников и истории вещества в приложении к изучению системы кора-мантия-атмосфера Земли, а также при исследовании источников магм и осадочного материала. Изучение теории закрепляется решением практических задач.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы <i>(виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости)</i>
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы				
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Раздел 1. Начала геохронологии. Оценка возраста Земли		2		4	6	Собеседование, 4 часа
Раздел 2. Техника изотопного анализа .		2		4	6	Собеседование, 10 часов
Раздел 3. Геохимия стабильных изотопов		2		4	6	Собеседование, 14 часов
Раздел 4. Закон радиоактивного распада .		2		4	6	Прием домашнего задания и собеседование, 12 часов
Раздел 5. К-Ag изотопная система		4		2	6	Прием домашнего задания и собеседование, 16 часов
Раздел 6. Rb-Sr изотопная система.		4		14	18	Прием домашнего задания и собеседование, 16 часов
Раздел 7. Sm-Nd изотопная система		4		14	18	Прием домашнего задания и собеседование, 16 часов
Раздел 8. U-Th-Pb система		4		8	12	Прием домашнего задания и собеседование, 20 часов
Раздел 9. Lu-Hf изотопная система		2		1	3	Собеседование, 6 часов
Раздел 10. Re-Os и Pt-Os изотопные системы		2		1	3	Прием домашнего задания и собеседование, 8 часов
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>						10
<b>Итого</b>	<b>216</b>			<b>84</b>		<b>132</b>

## **Содержание разделов дисциплины:**

### **1. Начала геохронологии. Оценки возраста Земли.**

Общие представления о звёздном нуклеосинтезе в стандартной модели Вселенной.

### **2. Техника изотопного анализа.**

Назначение масс-спектрометра. Основные системы масс-спектрометров и их назначение.

Подготовка вещества к изотопному анализу.

### **3. Геохимия стабильных изотопов.**

Предпосылки для заметного фракционирования изотопов в природе. Изотопные эффекты при фракционировании. Задача смешения в геохимии стабильных изотопов. Распределение  $\delta^{18}\text{O}$ . Распределение  $\delta\text{D}$ . Магматические процессы. Правило плейд. Genesis. Диапазоны вариаций изотопного состава углерода. Диапазоны вариаций изотопного состава серы.

### **4. Закон радиоактивного распада.**

Виды радиоактивного распада. Уравнение радиоактивного распада. Цепочки радиоактивных превращений. Ядра отдачи (recoil nuclei).

### **5. K-Ar изотопная система**

Методы определения. Устойчивость K-Ar системы породообразующих минералов. Погрешности.  $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$  метод геохронологии. Диффузия и миграция изотопов. Теория «возрастов охлаждения». Геохимия Ar в мантии.

### **6. Rb-Sr изотопная система.**

Масс-дискриминация при изотопном анализе. Нормирование изотопных отношений. Условия получения изохроны. МНК. Модели нарушения Rb/Sr системы. Диаграмма Николайсена и диаграмма Компстона-Джеффри. Метод изотопного разбавления. Смешение в геохимии изотопов. Rb и Sr в различных типах пород.

### **7. Sm-Nd изотопная система.**

Изотопный состав Sm и Nd. Геохимия Sm и Nd. DePaolo, Wasserburg, 1976. Модельный возраст Sm-Nd системы. Проблема баланса кора-мантия. Состав примитивной мантии. Причины изотопной гетерогенности мантии в Rb/Sr и Sm/Nd изотопных системах.

### **8. U-Th-Pb система.**

Вычисление U-Pb возраста. Диаграмма Аренса-Визерилла. Диаграмма Тера-Вассербурга. Изотопная геохимия свинца. Возраст Земли. Модель Стейси-Крамерса. Модель возникновения изотопной гетерогенности в результате появления химической гетерогенности. Статистическая динамическая модель.

### **9. Lu-Hf изотопная система.**

Изотопный состав Hf. Применение Lu-Hf в различных типах пород.

### **10. Re-Os и Pt-Os изотопные системы.**

Содержание Re и PGE в мантии. Геохимия изотопов Os. Свойства Re/Os.

## **Рекомендуемые образовательные технологии**

Чтение курса сопровождается показом графики с помощью проектора в формате PowerPoint. Решение ряда практических задач разбирается в аудитории с использованием студентами компьютеров. По разным разделам курса студентам задаются задачи для самостоятельного решения и последующей защиты результатов.

## **7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)**

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

По разным разделам курса распределены задачи для самостоятельного решения и последующей защиты результатов, что способствует приобретению практических навыков в применении методов изотопной геохронологии и геохимии, а также закрепляет теоретические знания студентов. По итогам сдачи заданий вычисляется средний балл, который влияет на окончательную оценку по курсу.

**Перечень расчетно-графических заданий для проведения текущего контроля:**

Примеры задач для самостоятельного решения (некоторые задачи представлены в нескольких вариантах, индивидуально для каждого студента):

**Задача 1.** Вычислить температуры равновесия между минералами кварцевого диорита. Сделать выводы о замкнутости изотопной системы.

**Задача 2.** Построить график изменения изотопного состава кислорода расплава и минерала при различных степенях равновесной кристаллизации ( $f$ , от 0 до 1) при  $t = 900^\circ\text{C}$ . Для исходного расплава принять  $d^{18}\text{O} = +5.6\text{‰}$ .

**Задача 3.** Рассчитать энергию ядер отдачи.

**Задача 4.** Каким был атомный вес калия 4.56 млрд. лет назад?

**Задача 5.** Рассчитать значения K-Ar возраста по результатам анализа серицита, выделенного из кварц-серицитовых сланцев на месторождении Мурунтау.

**Задача 6.** Масса атмосферы Земли –  $5.135 \cdot 10^{21}$  г. Масса силикатной части Земли –  $4.19 \cdot 10^{27}$  г.  $[\text{Ar}]_{\text{атм}} = 1.286$  вес.‰.

Если допустить, что:

1. исходное количество  $^{40}\text{Ar}$  пренебрежимо мало и

2. весь накопленный за 4.56 млрд. лет радиогенный аргон находится в атмосфере, то какова средняя концентрация калия в силикатной части Земли?

$K(\text{ppm}) = ?$  и  $\text{K}_2\text{O}(\%) = ?$

Сравнить с известными оценками. Сделать выводы.

**Задача 7.** Рассчитать возраст и начальное изотопное отношение стронция по паре точек (Bt–Pl).

**Задача 8.** Результаты изотопного анализа минеральных фракций образца 30-1-89 Катунского гранита, В.Саяны [Костицын Ю.А., Алтухов Е.Н., Филина Н.П. Rb–Sr изохронное датирование щелочных гранитов С-В Тувы. // Геология и Геофизика. 1998. Т. 39. № 7. С. 917-923.] указаны в таблице.

Построить изохрону с помощью ISOPLOT. Построить "график остатков".

**Задача 9.** Проверить, могли ли такие составы (данные в таблице) образоваться в результате двухкомпонентного смешения 200 млн. лет назад?

Если смешение будет обнаружено, то:

- обосновать характер источников (мантия, кора) конечных членов смешения;

- рассчитать пропорции смешения, приняв за конечные члены крайние (т.е. наиболее контрастные) составы.

- проверить изохрону из задачи №8, не может ли она быть результатом двухкомпонентного смешения?

**Задача 10.** Порода с заданным содержанием Rb и Sr отделилась  $T$  лет тому назад от источника MORB. Найти её современный изотопный состав Sr (до 5 знака).  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$  найти двумя способами. Представить эволюцию  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  источника и породы графически.

**Задача 11.** Пронормировать изотопные отношения неодима и вычислить величины  $\epsilon\text{Nd}$ .

**Задача 12.** Построить графики нормированных PЗЭ, рассчитать  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  и  $(\text{La}/\text{Lu})_n$ .

**Задача 13.**  $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}} = 0.1967$

	$\epsilon\text{Nd}$	$\text{Sm}/\text{Nd}$
CHUR	0	?
Mantle	9	?
ContCrust	-38	?

**Задача 14.** Вычислить значения одностадийного и двухстадийного Sm-Nd модельного возраста. Построить графики эволюции изотопного состава неодима.

**Задача 15.** Рассчитать изотопный состав обеднённой мантии (DM) при следующих допущениях:

- DM образовалась в результате отделения вещества континентальной коры от примитивной мантии (а) хондритового и (б) нехондритового состава

- средний возраст коры – по вариантам (на сайте).

Рассмотреть два случая:

- 1) источник коры – вся мантия;
- 2) источник коры – верхняя мантия.

Сформулировать выводы.

В координатах  $\epsilon_{Nd} - \epsilon_{Sr}$  построить кривые смещения для современных пород (продуктов смещения):

- материала континентальной коры с мантийным перидотитом
- материала континентальной коры с базальтовым расплавом мантийного происхождения при условии, что процесс смещения произошёл 1.7 млрд лет назад. Дать комментарий.

**Задача 16.** Построить U-Pb дискордию в координатах Аренса-Везерилла и Тера-Вассербурга для  $T_1$  и  $T_2$ .

**Задача 17.** Вычислить модельный возраст и  $\mu$  для рудного свинца. Построить кривую эволюции его источника.

**Задача 18.** Изотопный состав свинца из стратиформных месторождений. Аппроксимировать точки двустадийной кривой развития.

**Задача 19.** Найти Lu/Hf в мантии, если в среднем для MORB  $\epsilon_{Hf}=+14$ .

**Задача 20.** Рассчитать возраст молибденита, в котором обнаружены Re и Os в следующих количествах (данные в таблице).

**Задача 21.** Рассчитать современное  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  в мантии, если Re/Os отношение в мантии на 8.4% выше хондритового, а начальные изотопные отношения осмия в этих резервуарах были одинаковые.

**Задача 22.** Рассчитать модельный возраст образца иридосмина относительно мантийного источника, если выделенный из него осмий имеет указанное в таблице  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ . Представить результат графически.

## 7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

### *Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации:*

1. Основные задачи изотопной геохимии и геохронологии.
2. Причины вариаций изотопного состава элементов в природе.
3. Изотопы и изобары. Виды радиоактивного распада. Уравнение радиоактивного распада. Период полураспада и константа распада. Короткоживущие и долгоживущие радиоактивные изотопы. Цепочки радиоактивных превращений. Частные случаи соотношений констант распада в цепочке.
4. Основные предпосылки для заметного фракционирования изотопов в природе. Виды изотопных эффектов. Правило плеяд.
5. Изотопный состав кислорода и водорода в гидросфере, земной коре и мантии Земли. Причины и характер вариаций изотопного состава кислорода в породах земной коры.
6. Проект GENESIS и вариации изотопного состава кислорода в Солнечной Системе.
7. Виды масс-спектрометров, применяемых в современном изотопном анализе. Назначение и принципиальное устройство их основных систем. Способы образования ионов, разделения и регистрации.
8. Основы K-Ar метода геохронологии. Вид распада. Формула для практического расчёта возраста. Аналитические способы определения калия и аргона. Возможности и ограничения метода.
9.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  вариант K-Ar метода. Преимущества и сложности метода. Особенности графического представления результатов.
10. Основы Rb-Sr метода геохронологии. Области применения. Идеальная изохронная модель. Устойчивость и механизмы нарушения Rb-Sr системы пород и минералов.
11. Способы представления Rb-Sr и Sm-Nd изотопных данных. Изохронные модели и диаграммы Николайсена и Компстона-Джеффри.



12. Основы изотопной геохимии стронция. Причины и характер вариаций изотопного состава стронция в природе. Оценки Rb/Sr отношения в однородном резервуаре (UR) и реальной примитивной мантии.
13. Двухкомпонентное смешение и изотопная геохимия. Двухкомпонентное смешение и изохрона.
14. Метод изотопного разбавления. Преимущества применения смешанного трасера.
15. Основы Sm-Nd метода геохронологии и изотопной геохимии неодима. Возможности и ограничения Sm-Nd метода геохронологии. Причины и характер вариаций изотопного состава неодима в природе.
16. Совместное использование изотопов неодима и стронция в геохимии. Возможные причины корреляции изотопных отношений. Понятие о примитивном, обеднённом и обогащённом источниках вещества.
17. Проблема баланса кора-мантия в Sm-Nd и Rb-Sr изотопных системах.
18. Модельный возраст в Sm-Nd, Lu-Hf, Rb-Sr и U-Pb системах. Принципы расчёта, геологический смысл, общее и различия.
19. Основы U-Pb метода геохронологии. Главные преимущества метода. Диаграммы с конкордией и двухстадийная модель при изучении цирконов.
20. Применение циркона для датирования геологических процессов. Устойчивость циркона и причины нарушения U-Pb системы.
21. Эволюция изотопного состава свинца в природе. Модель Стейси-Крамерса. Определение U/Pb отношения пород и их источника по изотопному составу свинца.
22. Изохроны и дискордии – сходство и различия. Условия возникновения и особенности интерпретации.
23. Основы Lu-Hf метода геохронологии и изотопной геохимии гафния. Причины и характер вариаций изотопного состава гафния в природе. Совместное использование изотопов неодима и гафния.
24. Основы Re-Os метода геохронологии и изотопной геохимии осмия. Причины и характер вариаций изотопного состава осмия в природе. Понятие о модельном возрасте в Re-Os системе.
25. Проблемы хондритового состава мантии Земли.
26. Hf-W и U-Pb изотопные системы и проблема определения возраста земного ядра.
27. Причины изотопной гетерогенности мантии Земли (Sr-Nd-Pb-Hf).

***Примеры практических задач для решения на экзамене:***

1. Рассчитайте K-Ar возраст, если  $K=2.09\%$ ,  $[^{40}\text{Ar}]=37.06$  ppb.
2. Рассчитайте Rb-Sr возраст и начальное изотопное отношение стронция по двум образцам, если в первом:  $[\text{Rb}]=220.3$ ,  $[\text{Sr}]=156.5$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.73152$ ; во втором:  $[\text{Rb}]=35.7$ ,  $[\text{Sr}]=208.1$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70911$ .
3. В образце глинистого сланца  $\epsilon_{\text{Nd}}=-11$ ,  $\text{Sm}/\text{Nd} = 0.2187$ . Рассчитайте его модельный возраст относительно обеднённой мантии (DM). Принять, что сейчас источник DM имеет  $\epsilon_{\text{Nd}}=+9$ , и Sm/Nd отношение в нём постоянно.
4. Определите двустадийный модельный возраст образца ( $T_{\text{DM2}}^{\text{Nd}}$ ) при следующих условиях:  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}= 0.511893$ ;  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}=0.1087$  и известно, что его возраст  $T=1.0$  млрд.лет. Принять для DM:  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.513099$ ;  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}=0.2119$ ; для коры:  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}=0.1322$  (нормировано по  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}\equiv 0.7219$ ).
5. Рассчитайте  $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$  для  $T=1700$  млн.лет в породе, если в ней  $\text{Sm}/\text{Nd}=0.2052$ ,  $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})=0.512338$  (нормировано по  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}\equiv 0.7219$ ).
6. Рассчитайте модельный возраст иридосмина при допущении его одностадийного образования из мантийного вещества, если в нём  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}=0.1164$ .
7. Рассчитайте возраст молибденита, в котором обнаружено  $5.62$  мкг/г Re и  $40.33$  нг/г Os, при допущении, что весь осмий – радиогенный.

8. 680 млн. лет назад в андезите  $\epsilon_{\text{Hf}}(T)=+7$ . Рассчитайте изотопное отношение  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  в ней в то время.
9. Возраст галенита – 1550 млн.лет. Определите его изотопный состав в предположении, что он отделился от мантийного источника, в котором  $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}=8.1$  и  $\text{Th}/\text{U}=3.2$ .

### Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине.

Результаты обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: причины изменения изотопного состава элементов в природе	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения: использовать знания определения в геологических событиях для установления характера источника вещества, качественных химических параметров, др., смысл моделирования возраста в речных изотопных системах, уметь его вычислять, применять для решения геологических задач	Умения отсутствуют	В целом успешно, но не систематическое умение, допускает неточности непринципиального характера	В целом успешно, содержащее отдельные пробелы умение использовать возможности изотопной геохимии	Успешное умение использовать возможности изотопной геохимии для решения геохимических задач
Владения: аппаратом вычисления возраста с помощью разных изотопных систем, начальных изотопных отношений, производных величин	Навыки владения отсутствуют	Фрагментарное владение методами, наличие отдельных навыков	В целом сформированные навыки использования методов геохронологии, но имеется определенная неуверенность.	Владение методами геохронологии, решения генетических задач

### 8. Ресурсное обеспечение:

#### А) Перечень основной и дополнительной литературы.

##### - основная литература:

1. Галимов Э.М. Геохимия стабильных изотопов углерода. М., "Недра". 1968.
2. Галимов Э.М. Природа биологического фракционирования изотопов углерода. М., "Наука". 1981.
3. Глобальный биогеохимический цикл серы и влияние на него деятельности человека. М., "Наука". 1983.
4. Гриненко В.А., Гриненко Л.Н. Геохимия изотопов серы. М., "Наука", 1974. ред. В.И.Смирнов.
5. Мамырин Б.А., Толстихин И.Н. Изотопы гелия в природе. М., "Энергоиздат". 1981.
6. Фор Г. Основы изотопной геологии. М., "Мир". 1989.
7. *Hoefs J. Stable Isotope Geochemistry.* 2004. Springer. 243 P. (Хёфс Й. Геохимия стабильных изотопов. Мир. 1983. 200 С.)
8. Шуклюков Ю.А. Продукты деления тяжелых элементов на Земле. М., "Энергоиздат". 1982.

9. Taylor S.R., McLennan S.M. The continental crust: its composition and evolution. Blackwell. Oxford. 1985. 312 P.
10. Stable isotopes in high temperature geological processes. *J.W.Valley, H.P. Taylor, Jr., J.R. O'Neil, editors.* 1986. Vol.16.
11. Geochemistry of non-traditional stable isotopes. *C.M. Johnson, B.L.Beard, F.Albarede, editors.* 2004. Vol.55. 454 P.

**- дополнительная литература:**

1. Арсланов Х.А. Радиоуглерод: геохимия и геохронология. Л., ЛГУ. 1987.
2. Варшавский Я.М. и Вайсберг С.Э. Термодинамические и кинетические особенности реакций изотопного обмена. // Успехи химии. 1957 Т. 26. С. 1434 - 1468.
3. Верховский А.Б., Шуколюков Ю.А. Элементное и изотопное фракционирование благородных газов в природе. М., "Наука". 1991.
4. Войткевич Г.В. Краткий справочник по геохимии. М., "Недра". 1977.
5. Галимов Э.М. Вариации изотопного состава алмазов и связь их с условиями алмазообразования. // Геохимия. 1984. № 8. С. 1091-1115.
6. Галимов Э.М. и Кодина Л.А. Исследование органического вещества и газов в осадочных отложениях дна Мирового океана. М. Наука. 1984.
7. Галимов Э.М. О концепции термодинамического распределения изотопов в биологических системах и ошибках, связанных с ее пониманием. // Геохимия. 1978. № 10 с.1570.
8. Горохов И.М. Рубидий-стронциевый метод изотопной геохронологии. М., "Энергоатомиздат". 1985.
9. Костицын Ю.А. Rb-Sr изотопные исследования месторождения Мурунтау. Датирование рудных жил Rb-Sr изохронным методом. // Геохимия. 1993. № 9. С. 1308-1318.
10. Костицын Ю.А. Rb-Sr изотопные исследования месторождения Мурунтау. Рудоносные метасоматиты. // Геохимия. 1994. № 4. С. 486-497.
11. Костицын Ю.А. Rb-Sr изотопные исследования месторождения Мурунтау. Магматизм, метаморфизм и рудообразование. // Геохимия. 1996. № 12. С. 1123-1138.
12. Костицын Ю.А., Вагин С. Л. Экспериментальные исследования миграционной способности радиогенного стронция. // Геохимия. 1993. № 5. С. 47-57.
13. Меландер Л., Сондерс У. Скорости реакций изотопных молекул. М.: Мир. 1983.
14. Прасолов Э.М. Изотопная геохимия и происхождение природных газов. Л., "Недра". 1990.
15. Титаева Н.А. Ядерная геохимия. МГУ. 2000.
16. Харланд У.Б. и др. Шкала геологического времени. М., "МИР". 1985.
17. Шуколюков Ю.А., Левский Л.К. Геохимия и космохимия изотопов благородных газов. М., "Атомиздат". 1972.
18. Hofmann A.W. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism. // Nature. 1997. 385: 219-229.
19. Polyakov V.B., Kharlashina N.N. Effect of pressure on the equilibrium isotopic fractionation. // Geochim. Cosmochim. Acta. 1994. V. 58. P. 4739-4750.
20. Stable Isotopes. Natural and Anthropogenic Sulphur in the Environment. (eds. Krouse H.R., Grinenko V.A.) 1990. SCOPE Publ. by John Wiley and Sons Ltd. 425 p.
21. Tatsumoto M., Unruh D.M., Patchett P.J. U-Pb and Lu-Hf systematics of Antarctic meteorites. // Proc. 6th Symp. Antarctic Meteorites. Natl. Inst. Polar Res. Tokyo. 1981. P.237-249.
22. Zindler A., Hart S. Chemical Geodynamics. // Ann. Rev. Earth Planet. Sci. 1986. 14: 493-571.

**Б) Перечень лицензионного программного обеспечения** Microsoft Office Excel, Microsoft Office PowerPoint (при необходимости).

**В) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем**

**Г) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (лицензионное программное обеспечение не требуется):** пакет программ Isoplot

**Д) Материально-технического обеспечение:** Лекции и семинары проводятся с применением компьютера и мультимедиа-проектора. Решение некоторых задач и графические построения проводятся в аудитории с применением компьютеров. В среде Excel со свободно распространяемой надстройкой (add-in) Isoplot.

9. Язык преподавания – русский.

10. Преподаватель (преподаватели) – Костицын Ю.А.

11. Автор (авторы) программы – Костицын Ю.А.