

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и  
аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук  
(ГЕОХИ РАН)

ПРИНЯТО

Ученым советом ГЕОХИ РАН

Протокол № 4 от 22.04 2022 г.

УТВЕРЖДАЮ  
ИО директора ГЕОХИ РАН  
д.х.н. Хамизов Р.Х.  
"22" 04 2022 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Изотопная геохимия и геохронология»**

**Область науки:** 1 Естественные науки

*(шифр и наименование)*

**Группа научных специальностей:** 1.6 – Науки о Земле и окружающей среде

*(шифр и наименование)*

**Научная специальность:** 1.6.4 «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых», 1.6.21 «Геоэкология»

*(шифр и наименование)*

**Форма обучения:** Очная

**Вид итогового контроля:** зачет

*(Зачет/Дифференцированный зачет/Экзамен)*

**Москва 2022**

## 1. Цель освоения дисциплины

Изотопная геохимия и геохронология играют важную роль в разнообразных геологических и экологических исследованиях. Настоящая дисциплина призвана дать слушателям фундаментальные основы изотопной геохимии и геохронологии, первые навыки их применения на практике, а также общие представления об используемых методах изотопного анализа.

## 2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина «Изотопная геохимия и геохронология» входит в образовательный компонент программы аспирантуры и является дисциплиной по выбору обучающихся для получения более глубоких знаний по специальности.

### **Требования к предварительной подготовке обучающегося:**

*Знать:* Основы общей геологии, геохимии элементов, математики, физики и химии в объёме базовых дисциплин естественно-научных специальностей.

*Уметь:* работать с компьютером, пакетом Excel.

*Владеть:* английским языком начального уровня.

## 3. Результаты освоения программы дисциплины

В результате освоения дисциплины аспирант должен: твёрдо 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.

Аспиранты должны овладеть 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. Структура и содержание дисциплины

Приведенная ниже таблица отражает распределение учебного времени, отводимого на освоение основных разделов курса. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы (72 часа).

Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля	
	Всего	Всего аудит.	Из аудиторных					Сам. Работа
			Лекц.	Лаб.	Прак.	КСР.		
Изотопная геохимия и геохронология	72	28	28	-	-		44	Зачет

Обучение по дисциплине заканчивается прохождением промежуточной аттестации по ней в объеме 1 зачетной единицы (36 часов).

Содержание разделов дисциплины:

Содержание раздела (темы)	Количество часов
<i>Лекции</i>	
Введение. Образование нуклидов.	2
Аппаратура и методы изотопного анализа	2
Основы геохимии стабильных изотопов на примере кислорода	2
Закон радиоактивного распада	2
K-Ar изотопная система	2
Rb-Sr изотопная система	4
Sm-Nd изотопная система	4
U-Th-Pb изотопная система	4
Lu-Hf изотопная система	2
Re-Pt-Os изотопная система	2
Hf-W изотопная система	2
<i>Практические занятия</i>	
Отдельных практических занятий не предусмотрено. Некоторые практические упражнения разбираются в ходе лекций.	

## 5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций. Основные виды самостоятельной работы: в читальном зале библиотеки, в домашних условиях с доступом к ресурсам Интернет.

Основной контроль знаний осуществляется во время лекционных занятий (в начале или в конце занятия преподаватель задает вопросы аспирантам).

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 6.1. 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. Горохов И.М. Рубидий-стронциевый метод изотопной геохронологии. М., "Энергоатомиздат". 1985.
5. Гриненко В.А., Гриненко Л.Н. Геохимия изотопов серы. М., "Наука", 1974. ред. В.И. Смирнов.
6. Мамырин Б.А., Толстихин И.Н. Изотопы гелия в природе. М., "Энергоиздат". 1981.
7. Прасолов Э.М. Изотопная геохимия и происхождение природных газов. Л., "Недра". 1990.
8. Титаева Н.А. Ядерная геохимия. МГУ. 2000.
9. Фор Г. Основы изотопной геологии. М., "Мир". 1989.
10. Харланд У.Б. и др. Шкала геологического времени. М., "МИР". 1985.
11. Хёфс Р. Геохимия стабильных изотопов. 1986.
12. Шуколюков Ю.А. Продукты деления тяжелых элементов на Земле. М., "Энергоиздат". 1982.
13. Taylor S.R., McLennan S.M. The continental crust: its composition and evolution. Blackwell. Oxford. 1985. 312 P.

### 6.2. Дополнительная литература:

14. Арсланов Х.А. Радиоуглерод: геохимия и геохронология. Л., ЛГУ. 1987.
15. Бродский А.И. Химия изотопов М.: Наука. 1957. 645 с.
16. Варшавский Я.М. и Вайсберг С.Э. Термодинамические и кинетические особенности реакций изотопного обмена. // Успехи химии. 1957 Т. 26. С. 1434 - 1468.
17. Верховский А.Б., Шуколюков Ю.А. Элементное и изотопное фракционирование благородных газов в природе. М., "Наука". 1991.
18. Войткевич Г.В. Краткий справочник по геохимии. М., "Недра". 1977.
19. Галимов Э.М. Вариации изотопного состава алмазов и связь их с условиями алмазообразования. // Геохимия. 1984. № 8. С. 1091-1115.

20. Галимов Э.М. и Кодина Л.А. Исследование органического вещества и газов в осадочных отложениях дна Мирового океана. М. Наука. 1984.
21. Галимов Э.М. О концепции термодинамического распределения изотопов в биологических системах и ошибках, связанных с ее пониманием. // Геохимия. 1978. № 10 с.1570.
22. Изотопная геохимия процессов рудообразования. Ред. Ю.А. Шуколюков, М., "Наука". 1988.
23. Костицын Ю.А. Rb-Sr изотопные исследования месторождения Мурунтау. Датирование рудных жил Rb-Sr изохронным методом. // Геохимия. 1993. № 9. С. 1308-1318.
24. Костицын Ю.А. Rb-Sr изотопные исследования месторождения Мурунтау. Рудоносные метасоматиты. // Геохимия. 1994. № 4. С. 486-497.
25. Костицын Ю.А. Rb-Sr изотопные исследования месторождения Мурунтау. Магматизм, метаморфизм и рудообразование. // Геохимия. 1996. № 12. С. 1123-1138.
26. Костицын Ю.А., Вагин С. Л. Экспериментальные исследования миграционной способности радиогенного стронция. // Геохимия. 1993. № 5. С. 47-57.
27. Костицын Ю.А., Русинова С. В. Rb-Sr изохронное датирование калишпатового сферолита из вулканической толщи серебро-полиметаллического месторождения Канмансур (Ср. Азия). // Изотопное датирование эндогенных рудных формаций. М. 1993. С. 103-111.
28. Меландер Л., Сондерс У. Скорости реакций изотопных молекул. М.: Мир. 1983.
29. Стабильные изотопы и проблемы рудообразования. М., "Мир", 1977. ред. М.В. Иванов, Дж.Р. Френей.
30. Старик И.Е. Ядерная геохронология. М.-Л., "АН СССР". 1961.
31. Тугаринов А.И., Войткевич Г.В. Докембрийская геохронология материков. М., "Недра". 1966.
32. Шуколюков Ю.А., Горохов И.М., Левченков О.А. Графические методы изотопной геологии. М., "Недра". 1974.
33. Шуколюков Ю.А., Левский Л.К. Геохимия и космохимия изотопов благородных газов. М., "Атомиздат". 1972.
34. Hofmann A.W. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism. // Nature. 1997. 385: 219-229.
35. Polyakov V.B., Kharlashina N.N. Effect of pressure on the equilibrium isotopic fractionation. // Geochim. Cosmochim. Acta. 1994. V. 58. P. 4739-4750.
36. 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.
37. 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.
38. Zindler A., Hart S. Chemical Geodynamics. // Ann. Rev. Earth Planet. Sci. 1986. 14: 493-571.

## **7. Образовательные технологии**

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются персональный компьютер (или ноутбук) с необходимым программным обеспечением для работы устройства, а также для демонстрации презентаций MS PowerPoint.

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

8.1. Лекционная аудитория, оборудованная проекционным оборудованием и доступом в сеть «Интернет».

## 9. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

9.1. Форма контроля знаний:

9.1.1. Текущий контроль знаний в течение всего курса осуществляется с помощью контрольных вопросов.

9.1.2. Промежуточная аттестация – зачет, который проходит в устной форме по вопросам.

9.2. Оценочные средства (устные вопросы).

9.2.1. Перечень примерных контрольных вопросов для текущего контроля знаний

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  $\text{Sm}/\text{Nd}$  отношение в нём постоянно.
4. Определите двухстадийный модельный возраст образца относительно обеднённой мантии ( $T_{\text{Nd}}(\text{DM}_2)$ ) 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  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}\cong 0.7219$ ).
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  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}\cong 0.7219$ ).
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  $\text{Th}/\text{U}=3.2$ .

### 9.2.2. Список вопросов для зачёта по дисциплине.

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. Цепочки радиоактивных превращений. Частные случаи соотношений констант распада в цепочке.
4. Основные предпосылки для заметного фракционирования изотопов в природе. Виды изотопных эффектов. Правило плейд.
5. Изотопный состав кислорода и водорода в гидросфере, земной коре и мантии Земли.
6. Виды масс-спектрометров, применяемых в современном изотопном анализе, принципиальное устройство их основных узлов. Способы образования ионов, разделения и регистрации.
7. Основы K-Ar метода геохронологии. Вид распада. Формула для практического расчёта возраста. Аналитические способы определения калия и аргона. Возможности и ограничения метода.
8.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  вариант K-Ar метода. Преимущества и сложности метода.
9. Основы Rb-Sr метода геохронологии. Области применения. Устойчивость и механизмы нарушения Rb-Sr системы пород и минералов.
10. Способы представления Rb-Sr и Sm-Nd изотопных данных. Диаграмма Николайсена и диаграмма Компстона-Джеффри.
11. Основы изотопной геохимии стронция. Причины и характер вариаций изотопного состава стронция в природе. Оценки Rb/Sr отношения в примитивной и обеднённой мантии.
12. Двухкомпонентное смешение и изотопная геохимия. Двухкомпонентное смешение и изохрона.
13. Метод изотопного разбавления. Преимущества применения смешанного трасера.
14. 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.
15. Совместное использование изотопов неодима и стронция. Проблема баланса корамантия в Sm-Nd и Rb-Sr изотопных системах.

16. Модельный возраст в Sm-Nd и U-Pb системах. Принципы расчёта, геологический смысл.
17. Основы U-Pb метода геохронологии. Главные преимущества метода. Диаграмма с конкордией и двухстадийная модель при изучении цирконов. Устойчивость цирконов к наложенным процессам.
18. Эволюция изотопного состава свинца в природе. Модель Стейси-Крамерса. Определение U/Pb отношения пород и их источника по изотопному составу свинца.
19. Изохроны и дискордии – сходство и различия. Условия возникновения и особенности интерпретации.
20. Основы Lu-Hf метода геохронологии и изотопной геохимии гафния. Причины и характер вариаций изотопного состава гафния в природе. Совместное использование изотопов неодима и гафния.
21. 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.
22. Проблемы хондритового состава мантии Земли.
23. Hf-W и U-Pb изотопные системы и проблема определения возраста земного ядра.
24. Причины изотопной гетерогенности мантии Земли (Sr-Nd-Pb-Hf).



Рабочая программа составлена в соответствии с Федеральными государственными требованиями:

- приказ Минобрнауки РФ № 951 от 20 октября 2021г. «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)» (зарегистрирован 23.11.2021 № 65943).

Автор (ы): академик РАН, доктор геолого-минералогических наук  
Ю.А. Костицын