

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

И.О. директора ГЕОХИ РАН

д.х.н. Хамизов Р.Х.

04 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Геохимия стабильных изотопов»

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. Цели и задачи освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Геохимия стабильных изотопов» являются освоение фундаментальных основ изотопной геохимии стабильных изотопов, применение изотопных методов в геолого-геохимических исследованиях. В задачи предмета входят освоение следующих разделов знаний:

- способы выражения изотопного состава элементов, принятые в современной геохимии, законы фракционирования изотопов в природных процессах, образования стабильных изотопов из радиоактивных предшественников;
- основные методы изотопной геохронологии, особенности интерпретации данных и требования к датируемому веществу;
- изотопная геохимия наиболее изученных легких элементов (H, C, O, S).

2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина «Геохимия стабильных изотопов» входит в образовательный компонент программы аспирантуры и является дисциплиной по выбору обучающихся для получения более глубоких знаний по специальности.

3. Результаты освоения программы дисциплины

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать: современные способы использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности, современное состояние науки в области геохимии и геохимических методов поиска полезных ископаемых.

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

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. | | |
| Геохимия стабильных изотопов | 72 | 28 | 28 | - | - | | 44 | Зачет |

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

Содержание разделов дисциплины:

| Тематика лекций | Количество лекционных часов |
|--|-----------------------------|
| <p>Общая характеристика изотопов и изотопных реакций. <i>Понятие изотопа. Распространённость изотопов. Распределение нейтронов и протонов в ядрах. Дефект массы. Изотопные реакции. Понятие реакций изотопного обмена. Понятие изотопного состава.</i></p> <p>Основные понятия теории фракционирования стабильных изотопов. Общие закономерности и типы процессов фракционирования стабильных изотопов. <i>Коэффициент разделения изотопов. Изотопный сдвиг. Кинетический и термодинамический (равновесный) изотопные эффекты. Рэлеевская дистилляция. Изотопный масс-баланс.</i> <i>Фракционирование изотопов при испарении. Влияние скорости испарения на изотопное фракционирование</i></p> | 4 |
| <p>Термодинамика изотопного обмена. <i>Связь коэффициента разделения и константы равновесия изотопного обмена. Понятие β-фактора. Методы определения равновесных изотопных факторов (β-факторов). Теоретический расчёт β-факторов для двухатомной молекулы. Масс-зависимые изотопные эффекты. Явная зависимость β-фактора от разности масс изотопов (без вывода). Кинетика изотопного обмена Метод Нортропа-Клейтона для экспериментального определения констант равновесия изотопов. Трёх-изотопный метод.</i></p> | 4 |
| <p>Масс-независимые изотопные эффекты. <i>Понятие о масс-независимых изотопных эффектах. Нелинейные эффекты. Виды масс-независимых изотопных эффектов. Фотоэкранирование. Зависимость от размеров ядра. Ядерно-спиновый изотопный эффект.</i></p> | 2 |
| <p>Изотопные эффекты водорода. <i>Масштаб фракционирования изотопов водорода в природе. Понятие солевого эффекта и примеры. Влияние давления на водородный β-фактор воды. Фракционирование изотопов водорода в системе брусит-вода с учётом давления. Изотопный состав рудных флюидов. Магматический флюид и метаморфический и их изотопные составы. Метеорные воды. Изотопный состав осадков. Кривая Крэйга. Причины отклонения метеорных вод от зависимости Крэйга. Пластовые воды. Изотопный состав. Изотопный состав водорода в мантийных минералах.</i></p> | 2 |

| | |
|---|---|
| <p>Изотопные эффекты кислорода. Распространённость изотопов кислорода. Стандарты. Метод фторирования, использование лазера. Изотопный состав кислорода мантии. Существует ли гетерогенность мантии?</p> <p>Пробоподготовка карбонатов. Методы проподготовки сульфатов и фосфатов. Солевой эффект и его влияние на фракционирование водорода между раствором и минералом. Изотопные эффекты кислорода в системе CO₂-вода. Зависимость от pH. Кислородная геотермометрия. Изотопные эффекты кислорода при взаимодействии флюид-порода. Изотопные эффекты кислорода в магматических породах. Фракционная кристаллизация.</p> <p>Изотопные эффекты кислорода в плутонических и вулканических породах. Причины различий. Изотопные эффекты кислорода в базальтах. Изотопные эффекты кислорода в цирконы. Атмосферный кислород. Эффект Доула.</p> <p>Изотопные эффекты кислорода. O₂ в морской воде. Изотопные эффекты кислорода. O₂ в пресной воде. Изотопные эффекты кислорода в океанической воде. Масс-независимые эффекты в метеоритах. Самоэкранирование.</p> | 4 |
| <p>Изотопные эффекты углерода. Основные процессы фракционирования изотопов углерода. Изотопные эффекты углерода с участием карбонатов. Углеродные изотопные эффекты фотосинтеза. Фракционирование изотопов углерода растениями C₃ и C₄. Понятие о внутримолекулярных изотопных эффектах. Внутримолекулярные изотопные эффекты в аминокислотах. Углеродные изотопные различия между фракциями живого ОВ. Изотопный состав углерода мантии. Изотопный состав алмазов. Общий изотопный масс-баланс углерода. Изотопный состав наземного и морского ОВ. Изотопный состав природного газа.</p> <p>Изотопные эффекты серы. Общая характеристика изотопов серы. Пробоподготовка. Стандарты. Фракционирование изотопов серы при микробиологической сульфатредукции. Фракционирование изотопов серы при термохимической сульфатредукции. Равновесное фракционирование изотопов серы. Δ³³S в архее.</p> | 4 |
| <p>«Нетрадиционные» изотопы. Фракционирование изотопов железа.</p> <p>Изотопы железа общая характеристика. Определение δ-факторов железа γ-резонансными методами. Мессбауэровская спектроскопия. Закономерности во фракционировании изотопов железа. Определение δ-факторов железа с помощью неупругого ядерного γ-резонансного рассеяния Почему фракционирование изотопов железа зависит от окислительного состояния. Равновесное фракционирование изотопов железа в сульфидах. Проблема "лёгкого" пирита. Фракционирование изотопов железа в гидротермальных условиях на примере чёрных курильщиков. Изотопные эффекты железа в палласитах. Фракционирование изотопов железа в условиях сверхвысоких давлений (ядро-мантия). Разница в составе базальтов Земли, Луны, Марса, Весты. Интерпретация.</p> | 4 |
| <p>Ядерно-спиновый изотопный эффект при фракционировании изотопов ртути.</p> <p>Теория ядерно-спинового масс-независимого изотопного эффекта. Масс-независимые изотопные эффекты ртути в атмосфере.. Масс-независимое фракционирование изотопов ртути в пищевых цепях. Сравнение масс-зависимых и масс-независимых изотопных эффектов ртути..</p> | 4 |

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. Dickin A.P. Radiogenic isotope geology. 2nd ed., Cambridge University Press, 2005, 492 p. (доступна на <http://www.onafarawayday.com/Radiogenic>)
2. Галимов Э.М. Геохимия стабильных изотопов углерода. М., "Недра". 1968.
3. Галимов Э.М. Природа биологического фракционирования изотопов углерода. М., "Наука". 1981.
4. Глобальный биогеохимический цикл серы и влияние на него деятельности человека. М., "Наука". 1983.
5. Гриненко В.А., Гриненко Л.Н. Геохимия изотопов серы. М., "Наука", 1974. ред. В.И.Смирнов.
6. Титаева Н.А. Ядерная геохимия. Учебник. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2000, 336 с.
7. Покровский Б.Г. Коровая контаминация мантийных магм по данным изотопной геохимии. М.: Наука, 2000, 228 с.
8. Мамырин Б.А., Толстихин И.Н. Изотопы гелия в природе. М., "Энергоиздат". 1981.
9. В.И. Ферронский, В.А. Поляков. Изотопия гидросферы Земли. М.: Научный мир, 2009, 632 с.
- 10.Г. Фор. Основы изотопной геологии. М.: Мир,1989, 590 с.
- 11.Noefs J. Stable isotope geochemistry (5th ed.).Springer, 2004, 244 p.
- 12.Sharp Z. Principles of stable isotope geochemistry. Pearson ed., 2007, New Jersey, 344 p.
- 13.Criss R. Principles of stable isotope distribution. Oxford, New York, 1999, 254 p.
- 14.Fry B. Stable isotope ecology. Springer, 2006, 308 p.
- 15.Шуколюков Ю.А. Продукты деления тяжелых элементов на Земле. М., "Энергоиздат". 1982.

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

6.2. Дополнительная литература:

1. Арсланов Х.А. Радиоуглерод: геохимия и геохронология. Л., ЛГУ. 1987.
2. Верховский А.Б., Шуколюков Ю.А. Элементное и изотопное фракционирование благородных газов в природе. М., "Наука". 1991.
3. Галимов Э.М. и Кодина Л.А. Исследование органического вещества и газов в осадочных отложениях дна Мирового океана. М. Наука. 1984.
4. Галимов Э.М. О концепции термодинамического распределения изотопов в биологических системах и ошибках, связанных с ее пониманием. // Геохимия. 1978. № 10 с.1570.
5. Меландер Л., Сондерс У. Скорости реакций изотопных молекул. М.: Мир. 1983.
6. Прасолов Э.М. Изотопная геохимия и происхождение природных газов. Л., "Недра". 1990.
7. Шуколюков Ю.А., Левский Л.К. Геохимия и космохимия изотопов благородных газов. М., "Атомиздат". 1972.
8. Polyakov V.B., Kharlashina N.N. Effect of pressure on the equilibrium isotopic fractionation. // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1994. V. 58. P. 4739-4750.
9. 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.
10. Stable isotopes in high temperature geological processes. *J.W. Valley, H.P. Taylor, Jr., J.R. O'Neil, editors.* 1986. Vol.16.
11. 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».

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

8.1. Форма контроля знаний:

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

8.1.2. 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 и зачёта по дисциплине.

1. Понятие изотопа. Распространённость изотопов. Распределение нейтронов и протонов в ядрах. Дефект массы.
2. Изотопные реакции. Понятие реакций изотопного обмена. Понятие изотопного состава.
3. Коэффициент разделения изотопов. Изотопный сдвиг.
4. Кинетический и термодинамический (равновесный) изотопные эффекты.
5. Рэлеевская дистилляция
6. Изотопный масс-баланс.
7. Фракционирование изотопов при испарении. Формула (без вывода) и её интерпретация.
8. Термодинамика изотопного обмена. Связь коэффициента разделения и константы равновесия изотопного обмена.

9. Понятие β -фактора.
10. Методы определения равновесных изотопных факторов (β -факторов).
11. Теоретический расчёт β -факторов для двухатомной молекулы.
12. Масс-зависимые изотопные эффекты.
13. Явная зависимость β -фактора от разности масс изотопов (без вывода).
14. Понятие о масс-независимых изотопных эффектах.
15. Кинетика изотопного обмена
16. Метод Нортропа-Клейтона для экспериментального определения констант равновесия изотопов.
17. Трёх-изотопный метод.
18. Фракционирование изотопов водорода в системе вода-пар.
19. Зависимость Крэйга между δD и $\delta^{18}O$ для метеорных вод.
20. Масштаб фракционирования изотопов водорода.
21. Понятие солевого эффекта и примеры.
22. Влияние давления на водородный β -фактор воды.
23. Фракционирование изотопов водорода в системе брусит-вода с учётом давления.
24. Изотопный состав рудных флюидов.
25. Магматический флюид и метаморфический и их изотопные составы.
26. Метеорные воды. Изотопный состав осадков.
27. Кривая Крэйга. Причины отклонения метеорных вод от зависимости Крэйга.
28. Пластовые воды. Изотопный состав.
29. Изотопный состав водорода в мантийных минералах.
30. Распространённость изотопов кислорода. Стандарты.
31. Метод фторирования, использование лазера.

32. Изотопный состав кислорода мантии. Существует ли гетерогенность мантии?
33. Пробоподготовка карбонатов.
34. Методы проподготовки сульфатов и фосфатов.
35. Солевой эффект и его влияние на фракционирование водорода между раствором и минералом.
36. Изотопные эффекты кислорода в системе CO_2 -вода. Зависимость от pH.
37. Кислородная геотермометрия.
38. Изотопные эффекты кислорода при взаимодействии флюид-порода.
39. Изотопные эффекты кислорода в магматических породах.
40. Фракционная кристаллизация.
41. Изотопные эффекты кислорода. Плутонические и вулканические породы. Причины различий.
42. Изотопные эффекты кислорода. Базальты.
43. Изотопные эффекты кислорода. Цирконы.
44. Изотопные эффекты кислорода. Атмосферный кислород. Эффект Доула.
45. Изотопные эффекты кислорода. O_2 в морской воде.
46. Изотопные эффекты кислорода. O_2 в пресной воде.
47. Изотопные эффекты кислорода. Океаническая вода.
48. Масс-независимые эффекты в кислороде.
49. Нелинейные эффекты.
50. Масс-независимые эффекты в метеоритах. Самоэкранирование.
51. Основные процессы фракционирования изотопов углерода.
52. Изотопные эффекты углерода с участием карбонатов.
53. Углеродные изотопные эффекты фотосинтеза.
54. Фракционирование изотопов углерода растениями C_3 и C_4 .
55. Понятие о внутримолекулярных изотопных эффектах.
56. Внутримолекулярные изотопные эффекты в аминокислотах.
57. Углеродные изотопные различия между фракциями живого ОВ.

58. Изотопный состав углерода мантии.
59. Изотопный состав алмазов.
60. Общий изотопный масс-баланс углерода.
61. Изотопный состав наземного и морского ОВ.
62. Изотопный состав природного газа.
63. Общая характеристика изотопов серы. Пробоподготовка. Стандарты.
64. Фракционирование изотопов серы при микробиологической сульфатредукции.
65. Фракционирование изотопов серы при термохимической сульфатредукции.
66. Равновесное фракционирование изотопов серы.
67. $\Delta^{33}\text{S}$ в архее.
68. Изотопы железа общая характеристика.
69. Определение δ -факторов железа γ -резонансными методами. Мессбауэровская спектроскопия.
70. Закономерности во фракционировании изотопов железа.
71. Определение δ -факторов железа с помощью неупругого ядерного γ - резонансного рассеяния
72. Почему фракционирование изотопов железа зависит от окислительного состояния.
73. Равновесное фракционирование изотопов железа в сульфидах. Проблема "лёгкого" пирита.
74. Фракционирование изотопов железа в гидротермальных условиях на примере чёрных курильщиков.
75. Изотопные эффекты железа в палласитах.
76. Фракционирование изотопов железа в условиях сверхвысоких давлений (ядро-мантия).
77. Разница в составе базальтов Земли, Луны, Марса, Весты. Интерпретация.

Автор (ы): доктор химических наук Поляков Вениамин Борисович

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

| № листа изменений или наименования элемента приложения | № протокола Ученого Совета (секции Уч. Совета) | Дата заседания Ученого Совета (секции Уч. Совета) | Всего листов в документе | Подпись зам. директора по научной работе |
|--|--|---|--------------------------|--|
| | | | | |
| -- | | | | |
| | | | | |
| | | | | |