

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт геохимии им. А.П. Виноградова
Сибирского отделения Российской академии наук**



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.08 Изотопная геология и геохронология

Направление подготовки: 05.04.01 Геология

Направленность подготовки: Геохимия, минералогия и геоэкология

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очная

Иркутск 2025 г.

Содержание

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ	3
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО.....	3
3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	3
4. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ.....	6
4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов	6
4.2. План и перечень тем самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .	8
4.3. Содержание учебного материала	12
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы магистрантов	13
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	14
5.1. Перечень основной и дополнительной литературы.....	14
5.2. Периодические издания.....	14
5.3. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы	14
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	14
6.1. Учебно-лабораторное оборудование	14
6.2. Программное обеспечение.....	14
6.3. Технические и электронные средства обучения	15
7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	15
8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ	15
8.1. Оценочные материалы для текущего контроля:	17
8.2 Оценочные материалы для промежуточной аттестации.....	20

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Основной целью дисциплины «Изотопная геология и геохронология» является получение систематических знаний в области современных подходов к интерпретации геохронологических и изотопно-geoхимических данных для построения моделей петрогенезиса магматических, метаморфических пород и руд.

Для достижения поставленной цели необходимо обеспечить решение следующих задач:

- Получение представления о базовых принципах, лежащих в основе использования данных о строении атома и распространенностях изотопов для определения возраста геологических процессов и характере миграции атомов в геологических оболочках Земли.
- Изучение основ Rb-Sr, Sm-Nd, U-Th-Pb изотопного датирования горных пород и минералов.
- Получение навыков в использовании изотопов как изотопно-geoхимических трассеров геохимических процессов.
- Практическое освоение навыков обработки изотопных данных для определения возраста геологических объектов в рамках «изохронной» модели и модели «конкордия-дискордия».

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Учебная дисциплина «Изотопная геология и геохронология» относится к части программы магистерской подготовки направления 05.04.01 «Геология», формируемой участниками образовательных отношений.

Изотопная геология – это отрасль науки, изучающая геологические явления на основе применения изотопов элементов для определения возраста геологических объектов и характера миграции атомов между геосферами. Эта дисциплина затрагивает все аспекты наук о Земле и, следовательно, формирует широкий взгляд на эту область знания.

Изучение данной дисциплины базируется на знаниях, умениях и навыках, сформированных при изучении ранее пройденных геологических дисциплин, таких как общая геология, минералогия, петрография, геология полезных ископаемых.

Полученные в рамках изучения данной дисциплины знания, умения и опыт позволяют магистрантам ориентироваться в следующих вопросах:

- роль изотопно-geoхронологических исследований при построении петрологово-geoхимических моделей происхождения геологических тел, а также геодинамических моделей развития геологических структур;
- роль изотопно-geoхронологических исследований в рудогенезе;
- использование изотопов как меченных атомов при выяснении природы источников вещества в магматических, осадочных и рудных процессах.

Кроме того, полученные знания необходимы для освоения таких дисциплин как: «Общая geoхимия», «Geoхимия магматических и метаморфических процессов», «Geoхимические индикаторы геодинамических обстановок».

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование у студента следующих компетенций (элементов следующих компетенций) в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 05.04.01 «Геология»:

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Результаты обучения
ПК-3 Способен выбирать и определять оптимальные технические средства и необходимое оборудование при постановке научных исследований, подготавливать и проводить исследования, эксперименты, наблюдения, измерения, составлять их описание, выполнять их интерпретацию и формулировать выводы	ИД-1пкз Выбирает и определяет оптимальные технические средства и необходимое оборудование при постановке и проведении научных исследований или эксперимента	Знать: 3-1 геохимические свойства легких стабильных и тяжелых радиогенных изотопов, их распространенность в природе Уметь: У-1 применять на практике знания о легких стабильных и тяжелых радиогенных изотопах в геологических процессах Владеть: В-1 основами знаний об изотопах для формирования мировоззренческой позиции
	ИД-2пкз Подготавливает и проводит исследования, эксперименты, наблюдения, измерения, составляет их описание, выполняет их интерпретацию и формулирует выводы	Знать: 3-1 возможности и границы применения Rb-Sr, Sm-Nd и U-Th-Pb изотопных систем для геохронологических исследований Уметь: У-1 обрабатывать первичную аналитическую изотопно-геохимическую информацию Владеть: В-1 навыками использования изотопных отношений элементов как индикаторов процессов петрогенеза и рудогенеза
ПК-4 Способен изучать и использовать научно-техническую информацию, применять отечественный и зарубежный опыт при выполнении задач научно-исследовательской работе	ИД-1пк4 Использует учебную, справочную, периодическую, фондовую литературу и информационные ресурсы геологического, геохимического и экологического профиля при выполнении научно-исследовательских работ	Знать: 3-1 основные способы анализа главных проблем изотопной геохимии и геохронологии путём подбора, изучения и анализа литературных источников Уметь: У-1 использовать основные способы анализа проблем геохимии элементов путём подбора, изучения и анализа литературных источников по тематике исследований Владеть: В-1 навыками и приёмами

		подбора, изучения и анализа литературных источников по тематике исследований
	<p>ИД-2пк4 Ориентируется в структуре современных информационных источников, ресурсов и литературе для поиска и подбора актуальной информации или углубления знаний в рамках решения конкретной профессиональной задачи</p>	<p>Знать: З-1 структуру основных современных информационных источников и ресурсов для поиска и подбора актуальной информации по геохимии элементов</p> <p>Уметь: В-1 пользоваться реферативными базами WOS и системой управления библиографической информации EndNote для оптимизации процесса написания научных трудов</p> <p>Владеть: В-1 навыками и приёмами поиска и подбора актуальной информации по геохимии элементов</p>

4. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет **4** зачетных единицы, что составляет **144** академических часа, в том числе **4** академических часа на экзамен.

Форма промежуточной аттестации: экзамен в 3 учебном семестре.

4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости / форма промежуточной аттестации		
					Контактная работа преподавателя с обучающимися						
					Лекции	Семинарские/практические/лабораторные занятия	Консультации				
1	Предмет и исторический обзор развития изотопной геологии.	3	2,1	-	2	-	-	-	0,1	Устный опрос	
2	Внутреннее строение атомов и закон радиоактивного распада. Систематика ядер: изотопы, изотоны, изобары; атомная масса; стабильность ядер и распространенность изотопов; законы радиоактивного распада и накопления. Распад радиоактивного родительского нуклида до стабильного дочернего нуклида.	3	6,1	-	2	2	-	2	0,1	Устный опрос	

3	Масс-спектрометрия и метод изотопного разбавления.	3	10,3	-	2	4	0,2	4	0,1	Устный опрос
4	K-Ar и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методы датирования.	3	6,1	-	2	2	-	2	0,1	Устный опрос
5	Rb-Sr метод определения возраста.	3	6,1	-	2	2	-	2	0,1	Устный опрос
6	Геохимия рубидия и стронция; датирование рубидийсодержащих минералов в магматических горных породах; датирование магматических пород и изохронный метод; датирование метаморфических пород.	3	8,1	-	2	2	-	4	0,1	Устный опрос
7	Изотопная систематика двухкомпонентных смесей. Химические составы двухкомпонентных смесей; двухкомпонентные смеси, имеющие различные отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$; бинарные смеси двух элементов с различными изотопными отношениями.	3	8,4	-	2	2	0,2	4	0,2	Устный опрос
8	Изотопная геология стронция в метеоритах, земных магматических и осадочных породах. Каменные метеориты; история Луны; изотопная эволюция стронция в Земле; изотопная эволюция стронция в основных породах и гранитоидах; изотопная эволюция стронция в осадочных породах, понятие хемостратиграфии.	3	8,3	-	2	2	0,2	4	0,1	Устный опрос
9	Sm-Nd метод определения возраста.	3	8,1		2	2	-	4	0,1	Устный опрос
10	Изотопная геология неодима и стронция в магматических и осадочных породах.	3	12,4	-	4	4	0,2	4	0,2	Устный опрос
11	Lu-Hf метод определения возраста и изотопная геохимия Hf.	3	6,1	-	2	2	-	2	0,1	Устный опрос
12	U-Pb и Th-U методы определения возраста.	3	14,3	-	4	4	0,2	6	0,1	Устный опрос

13	Локальные U-Th-Pb методы определения возраста.	3	8,1	-	2	2	-	4	0,1	Устный опрос
14	Изотопная геология свинца	3	8,1	-	2	2		4	0,1	Устный опрос
15	Радиоуглеродный метод датирования		6,1	-	2	2		2	0,1	Устный опрос
16	Геохимия стабильных изотопов	3	8,1	-	2	2		4	0,1	Устный опрос
17	Химическая геодинамика и комплексная интерпретация изотопных данных.	3	13,2	-	4	4	1	4	0,2	Устный опрос
Всего			144		40	40	2	56	2	экзамен – 4,0 часа

4.2. План и перечень тем самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

№	Название раздела, темы	Вид самостоятельной работы	Оценочное средство	Формируемый индикатор достижения компетенции	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы	Трудоемкость, часов
1.	Внутреннее строение атомов и закон радиоактивного распада. Систематика ядер: изотопы, изотоны, изобары; атомная масса; стабильность ядер и распространенность изотопов; законы радиоактивного распада и накопления. Распад радиоактивного родительского нуклида до стабильного дочернего нуклида.	Проработка разделов теоретического курса, работа с литературой и подготовка к устному опросу	Устный опрос	ИД-1 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-4} ИД-1 _{ПК-4}	5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.5, 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3	2
2	Масс-спектрометрия и метод изотопного разбавления.	Проработка разделов теоретического курса, работа с литературой и подготовка к устному опросу	Устный опрос	ИД-1 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-4} ИД-1 _{ПК-4}	5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.5, 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3	4

3	K-Ar и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методы датирования.	Проработка разделов теоретического курса, работа с литературой и подготовка к устному опросу	Устный опрос	ИД-1 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-4} ИД-1 _{ПК-4}	5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.5, 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3	2
4	Rb-Sr метод определения возраста.	Проработка разделов теоретического курса, работа с литературой и подготовка к устному опросу	Устный опрос	ИД-1 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-4} ИД-1 _{ПК-4}	5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.5, 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3	2
5	Геохимия рубидия и стронция; датирование рубидийсодержащих минералов в магматических горных породах; датирование магматических пород и изохронный метод; датирование метаморфических пород.	Проработка разделов теоретического курса, работа с литературой и подготовка к устному опросу	Устный опрос	ИД-1 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-4} ИД-1 _{ПК-4}	5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.5, 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3	4
6	Изотопная систематика двухкомпонентных смесей. Химические составы двухкомпонентных смесей; двухкомпонентные смеси, имеющие различные отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$; бинарные смеси двух элементов с различными изотопными отношениями.	Проработка разделов теоретического курса, работа с литературой и подготовка к устному опросу	Устный опрос	ИД-1 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-4} ИД-1 _{ПК-4}	5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.5, 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3	4
7	Изотопная геология стронция в метеоритах, земных магматических и осадочных породах. Каменные метеориты; история Луны; изотопная	Проработка разделов теоретического курса, работа с литературой и подготовка к устному опросу	Устный опрос	ИД-1 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-4} ИД-1 _{ПК-4}	5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.5, 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3	4

	эволюция стронция в Земле; изотопная эволюция стронция в основных породах и гранитоидах; изотопная эволюция стронция в осадочных породах, понятие хемостратиграфии.					
8	Sm-Nd метод определения возраста.	Проработка разделов теоретического курса, работа с литературой и подготовка к устному опросу	Устный опрос	ИД-1 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-4} ИД-1 _{ПК-4}	5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.5, 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3	4
9	Изотопная геология неодима и стронция в магматических и осадочных породах.	Проработка разделов теоретического курса, работа с литературой и подготовка к устному опросу	Устный опрос	ИД-1 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-4} ИД-1 _{ПК-4}	5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.5, 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3	4
10	Lu-Hf метод определения возраста и изотопная геохимия Hf.	Проработка разделов теоретического курса, работа с литературой и подготовка к устному опросу	Устный опрос	ИД-1 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-4} ИД-1 _{ПК-4}	5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.5, 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3	2
11	U-Pb и Th-U методы определения возраста.	Проработка разделов теоретического курса, работа с литературой и подготовка к устному опросу	Устный опрос	ИД-1 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-4} ИД-1 _{ПК-4}	5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.5, 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3	6
12	Локальные U-Th-Pb методы определения возраста.	Проработка разделов теоретического курса, работа с литературой и подготовка к устному опросу	Устный опрос	ИД-1 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-4} ИД-1 _{ПК-4}	5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.5, 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3	4
13	Изотопная геология свинца.	Проработка разделов теоретического курса, работа с литературой и подготовка к устному опросу	Устный опрос	ИД-1 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-4} ИД-1 _{ПК-4}	5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.5, 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3	4

14	Радиоуглеродный метод датирования	Проработка разделов теоретического курса, работа с литературой и подготовка к устному опросу	Устный опрос	ИД-1 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-4} ИД-1 _{ПК-4}	5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.5, 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3	2
15	Геохимия стабильных изотопов	Проработка разделов теоретического курса, работа с литературой и подготовка к устному опросу	Устный опрос	ИД-1 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-4} ИД-1 _{ПК-4}	5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.5, 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3	4
16	Химическая геодинамика и комплексная интерпретация изотопных данных.	Проработка разделов теоретического курса, работа с литературой и подготовка к устному опросу	Устный опрос	ИД-1 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-4} ИД-1 _{ПК-4}	5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.5, 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3	4

4.3. Содержание учебного материала

Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/н	№ раздела и темы	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (час.)	Оценочные средства	Формируемые компетенции (индикаторы)
1	2	Внутреннее строение атомов и закон радиоактивного распада. Систематика ядер: изотопы, изотоны, изобары; атомная масса; стабильность ядер и распространенность изотопов; законы радиоактивного распада и накопления. Распад радиоактивного родительского нуклида до стабильного дочернего нуклида.	2	Устный опрос	ИД-1пк-3 ИД-2пк-3 ИД-2пк-4 ИД-1пк-4
2	3	Масс-спектрометрия и метод изотопного разбавления.	4	Устный опрос	ИД-1пк-3 ИД-2пк-3 ИД-2пк-4 ИД-1пк-4
3	4	K-Ar и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методы датирования.	2	Устный опрос	ИД-1пк-3 ИД-2пк-3 ИД-2пк-4 ИД-1пк-4
4	5	Rb-Sr метод определения возраста.	2	Устный опрос	ИД-1пк-3 ИД-2пк-3 ИД-2пк-4 ИД-1пк-4
5	6	Геохимия рубидия и стронция; датирование рубидийсодержащих минералов в магматических горных породах; датирование магматических пород и изохронный метод; датирование метаморфических пород.	2	Устный опрос	ИД-1пк-3 ИД-2пк-3 ИД-2пк-4 ИД-1пк-4
6	7	Изотопная систематика двухкомпонентных смесей. Химические составы двухкомпонентных смесей; двухкомпонентные смеси, имеющие различные отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$; бинарные смеси двух элементов с различными изотопными отношениями.	2	Устный опрос	ИД-1пк-3 ИД-2пк-3 ИД-2пк-4 ИД-1пк-4
7	8	Изотопная геология стронция в метеоритах, земных магматических и осадочных породах.	2	Устный опрос	ИД-1пк-3 ИД-2пк-3 ИД-2пк-4 ИД-1пк-4

		Каменные метеориты; история Луны; изотопная эволюция стронция в Земле; изотопная эволюция стронция в основных породах и гранитоидах; изотопная эволюция стронция в осадочных породах, понятие хемостратиграфии.			
8	9	Sm-Nd метод определения возраста.	2	Устный опрос	ИД-1пк-3 ИД-2пк-3 ИД-2пк-4 ИД-1пк-4
9	10	Изотопная геология неодима и стронция в магматических породах.	4	Устный опрос	ИД-1пк-3 ИД-2пк-3 ИД-2пк-4 ИД-1пк-4
10	11	Lu-Hf метод определения возраста и изотопная геохимия Hf.	2	Устный опрос	ИД-1пк-3 ИД-2пк-3 ИД-2пк-4 ИД-1пк-4
11	12	U-Pb и Th-U методы определения возраста.	4	Устный опрос	ИД-1пк-3 ИД-2пк-3 ИД-2пк-4 ИД-1пк-4
12	13	Локальные U-Th-Pb методы определения возраста.	2	Устный опрос	ИД-1пк-3 ИД-2пк-3 ИД-2пк-4 ИД-1пк-4
13	14	Изотопная геология свинца.	2	Устный опрос	ИД-1пк-3 ИД-2пк-3 ИД-2пк-4 ИД-1пк-4
14	15	Радиоуглеродный метод датирования	2	Устный опрос	ИД-1пк-3 ИД-2пк-3 ИД-2пк-4 ИД-1пк-4
15	16	Геохимия стабильных изотопов	2	Устный опрос	ИД-1пк-3 ИД-2пк-3 ИД-2пк-4 ИД-1пк-4
16	17	Химическая геодинамика и комплексная интерпретация изотопных данных.	4	Устный опрос	ИД-1пк-3 ИД-2пк-3 ИД-2пк-4 ИД-1пк-4

4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы магистрантов

Вид самостоятельной работы. Проработка разделов теоретического курса, работа с литературой и подготовка к устному опросу.

Цель самостоятельной работы: Приобретение необходимо уровня теоретических знаний для достижения способности использовать теоретические основы специальных и новых разделов дисциплины «Изотопная геология и геохронология» при решении задач профессиональной деятельности.

Задание на самостоятельную работу: Обобщение материала, полученного на лекциях, подбор, обработка и анализ литературных и Интернет-источников по теме

изученного раздела в соответствии с перечнем вопросов для подготовки к устному опросу (текущему контролю).

Рекомендации по выполнению задания: необходимо внимательно ознакомиться с перечнем вопросов для подготовки к устному опросу по соответствующему разделу, прочитать конспект лекции по теме, составить план поиска дополнительной информации, найти и систематизировать дополнительную информацию, составить краткий конспект по вопросам, не рассмотренным на лекциях.

Критерии оценки качества выполнения самостоятельной работы: качество самостоятельной работы оценивается полнотой и правильностью письменного ответа на устном опросе, степенью осознанности и понимания изученного, языковым оформлением ответа.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 перечень основной и дополнительной литературы

основная литература

- 5.1.1. Фор Г. Основы изотопной геологии. Москва. Мир.: 1989. – 585 с.
5.1.2. Горохов И.М. Рубидий-стронциевый метод изотопной геохронологии. 1985. М.: Энергоатомиздат. – 153 с.
5.1.3. Изотопная геология. Ред. Э Йегер, И. Хунцикер. 1979. М.: Недра. – 333 с.
5.1.4. Шуколюков Ю.А., Горохов И.М., Левченков О.А. Графические методы изотопной геохимии. 1974. М.: Недра. – 208с.

дополнительная литература

- 5.1.5. Интерпретация геохимических данных / под ред. Е.В. Склярова – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 288 с.
5.1.6. Туркина О.М. Лекции по геохимии магматического и метаморфического процессов. Новосибирск: НГУ, 2014. – 118 с.
5.1.7. Туркина О.М. Лекции по геохимии мантии и континентальной коры: учебное пособие. Новосибирск: НГУ, 2008. – 150 с.

5.2. периодические издания

- 5.2.1. Журнал «Геохимия» - <https://sciencejournals.ru/journal/geokhim/>
5.2.2. Журнал «Geochimica et Cosmochimica Acta» - <https://www.sciencedirect.com/journal/geochimica-et-cosmochimica-acta>
5.2.3. Журнал «Chemical Geology» - <https://www.sciencedirect.com/journal/chemical-geology/>

5.3. базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

Система поиска научной информации Web of Science
<https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Учебно-лабораторное оборудование:

Для занятий используется специализированная аудитория Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, оснащенная компьютером, мультимедийным проектором и экраном.

6.2. Программное обеспечение:

Специализированные программные продукты для обработки геологической информации, распространяемые свободно: NewPet, MinPet, Isoplot.
CorelDraw – пакет графических программ, Microsoft Office Standart 2016, Grahper – пакет

для создания научной графики, ПО для подготовки презентаций (PowerPoint, ФотоШоу Pro).

6.3. Технические и электронные средства обучения: Лекции в виде презентаций

7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации данной программы применяются информационно-коммуникационные технологии (использование вычислительной техники и телекоммуникационных средств для реализации информационных процессов с целью оперативной и эффективной работы с информацией).

Кроме того, при реализации программы «Изотопная геология и геохронология» применяются такие способы подачи материала, как дискуссия, обучение на основе результатов научных исследований, проводимых Институтом геохимии им. А.П. Виноградова.

8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Этапы формирования компетенций (индикаторов достижения компетенций) и их показателей (дескрипторов)

Компетенция ПК-3

Наименование раздела / темы	ИД-1пкз			ИД-2пкз		
	3-1	У-1	В-1	3-1	У-1	В-1
Внутреннее строение атомов и закон радиоактивного распада. Систематика ядер: изотопы, изотоны, изобары; атомная масса; стабильность ядер и распространенность изотопов; законы радиоактивного распада и накопления.						
Распад радиоактивного родительского нуклида до стабильного дочернего нуклида.						
Масс-спектрометрия и метод изотопного разбавления.						
K-Ar и 40Ar/39Ar методы датирования.					+	
Rb-Sr метод определения возраста.					+	+
Геохимия рубидия и стронция; датирование рубидийсодержащих минералов в магматических горных породах; датирование магматических пород и изохронный метод; датирование метаморфических пород.	+	+	+	+	+	
Изотопная систематика двухкомпонентных смесей.	+	+	+		+	+
Химические составы двухкомпонентных смесей; двухкомпонентные смеси, имеющие различные отношения $87\text{Sr}/86\text{Sr}$; бинарные смеси двух элементов с различными изотопными отношениями.	+	+	+		+	+
Изотопная геология стронция в метеоритах, земных магматических и осадочных породах. Каменные метеориты; история Луны; изотопная эволюция стронция в Земле; изотопная эволюция стронция в основных породах и гранитоидах; изотопная эволюция стронция в осадочных породах, понятие хемостратиграфии.	+	+	+		+	+

Sm-Nd метод определения возраста.	+	+	+	+	+	
Изотопная геология неодима и стронция в магматических и осадочных породах.	+	+	+		+	+
Lu-Hf метод определения возраста и изотопная геохимия Hf.	+	+	+	+	+	
U-Pb и Th-U методы определения возраста.	+	+	+	+	+	
Локальные U-Th-Pb методы определения возраста.	+	+	+	+	+	
Изотопная геология свинца.	+	+	+	+	+	+
Радиоуглеродный метод датирования	+	+	+	+	+	
Геохимия стабильных изотопов	+	+	+		+	+
Химическая геодинамика и комплексная интерпретация изотопных данных.			+		+	+

Компетенция ПК-4

Наименование раздела / темы	ИД-1ПК4			ИД-2ПК4		
	3-1	У-1	В-1	3-1	У-1	В-1
Внутреннее строение атомов и закон радиоактивного распада. Систематика ядер: изотопы, изотоны, изобары; атомная масса; стабильность ядер и распространенность изотопов; законы радиоактивного распада и накопления. Распад радиоактивного родительского нуклида до стабильного дочернего нуклида.	+	+	+	+	+	
Масс-спектрометрия и метод изотопного разбавления.	+	+	+	+	+	+
K-Ar и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методы датирования.	+	+	+	+	+	+
Rb-Sr метод определения возраста.	+	+	+	+	+	+
Геохимия рубидия и стронция; датирование рубидийсодержащих минералов в магматических горных породах; датирование магматических пород и изохронный метод; датирование метаморфических пород.	+	+	+	+	+	+
Изотопная систематика двухкомпонентных смесей.	+	+	+	+	+	+
Химические составы двухкомпонентных смесей; двухкомпонентные смеси, имеющие различные отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$; бинарные смеси двух элементов с различными изотопными отношениями.	+	+	+	+	+	+
Изотопная геология стронция в метеоритах, земных магматических и осадочных породах. Каменные метеориты; история Луны; изотопная эволюция стронция в Земле; изотопная эволюция стронция в основных породах и гранитоидах; изотопная эволюция стронция в осадочных породах, понятие хемостратиграфии.	+	+	+	+	+	+
Sm-Nd метод определения возраста.	+	+	+	+	+	+
Изотопная геология неодима и стронция в магматических и осадочных породах.	+	+	+	+	+	+
Lu-Hf метод определения возраста и изотопная геохимия Hf.	+	+	+	+	+	+
U-Pb и Th-U методы определения возраста.	+	+	+	+	+	+
Локальные U-Th-Pb методы определения возраста.	+	+	+	+	+	+
Изотопная геология свинца.	+	+	+	+	+	+

Радиоуглеродный метод датирования	+	+	+	+	+	+
Геохимия стабильных изотопов	+	+	+	+	+	+
Химическая геодинамика и комплексная интерпретация изотопных данных.	+	+	+	+	+	+

Соотнесение оценочных материалов текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации с результатами обучения

Индекс компетенции	Индекс индикатора достижения компетенции	Индекс дескриптора индикатора достижения компетенции	Номера вопросов / тестовых заданий / рефератов, из оценочных материалов контроля текущей успеваемости, позволяющих оценить степень сформированности дескриптора компетенции	Номера вопросов из оценочных материалов промежуточной аттестации, позволяющих оценить степень сформированности дескриптора компетенции
ПК-3	ИД-1пкз	3-1	1-8,10,11	1,8,10
		У-1	9,10,11,12, 13, 14,15,16,17,18,19,20	5,7,10
		В-1	1-8	1,2,6,10
	ИД-2пкз	3-1	19,20	2,6,10
		У-1	21,22,23	3,7,9,10
		В-1	9,21,22,23	9,10
ПК-4	ИД-1пк4	3-1	10,11,12,15, 19-21	4,10
		У-1	19-2110,11,12,15, 19-21	4,10
		В-1	19-2110,11,12,15, 19-21	4,10
	ИД-2пк4	3-1	19-2110,11,12,15, 19-21	4,10
		У-1	19-2110,11,12,15, 19-21	4,10
		В-1	19-2110,11,12,15, 19-21	4,10

8.1. Оценочные материалы для текущего контроля:

Материалы для проведения текущего контроля знаний студентов:

№ п/н	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Индикаторы достижения компетенций (компоненты), которые контролируются
1	Устный опрос	Внутреннее строение атомов и закон радиоактивного распада. Систематика ядер: изотопы, изотоны, изобары; атомная масса; стабильность ядер и распространенность изотопов; законы радиоактивного распада и накопления. Распад радиоактивного родительского нуклида до стабильного дочернего нуклида.	ИД-1пк-3 ИД-2пк-3 ИД-2пк-4 ИД-1пк-4
2	Устный опрос	Масс-спектрометрия и метод изотопного разбавления.	ИД-1пк-3 ИД-2пк-3 ИД-2пк-4 ИД-1пк-4
3	Устный опрос	K-Ar и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методы датирования.	ИД-1пк-3 ИД-2пк-3

		Принципы и методология.	ИД-2ПК-4 ИД-1ПК-4
4	Устный опрос	Rb-Sr метод определения возраста.	ИД-1ПК-3 ИД-2ПК-3 ИД-2ПК-4 ИД-1ПК-4
5	Устный опрос	Геохимия рубидия и стронция; датирование рубидийсодержащих минералов в магматических горных породах; датирование магматических пород и изохронный метод; датирование метаморфических пород.	ИД-1ПК-3 ИД-2ПК-3 ИД-2ПК-4 ИД-1ПК-4
6	Устный опрос	Изотопная систематика двухкомпонентных смесей. Химические составы двухкомпонентных смесей; двухкомпонентные смеси, имеющие различные отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$; бинарные смеси двух элементов с различными изотопными отношениями.	ИД-1ПК-3 ИД-2ПК-3 ИД-2ПК-4 ИД-1ПК-4
7	Устный опрос	Изотопная геология стронция в метеоритах, земных магматических и осадочных породах. Каменные метеориты; история Луны; изотопная эволюция стронция в Земле; изотопная эволюция стронция в основных породах и гранитоидах; изотопная эволюция стронция в осадочных породах, понятие хемостратиграфии.	И ИД-1ПК-3 ИД-2ПК-3 ИД-2ПК-4 ИД-1ПК-4
8	Устный опрос	Sm-Nd метод определения возраста.	ИД-1ПК-3 ИД-2ПК-3 ИД-2ПК-4 ИД-1ПК-4
9	Устный опрос	Изотопная геология неодима и стронция в магматических породах.	ИД-1ПК-3 ИД-2ПК-3 ИД-2ПК-4 ИД-1ПК-4
10	Устный опрос	Lu-Hf метод определения возраста и изотопная геохимия Hf.	ИД-1ПК-3 ИД-2ПК-3 ИД-2ПК-4 ИД-1ПК-4
11	Устный опрос	U-Pb и Th-U методы определения возраста.	ИД-1ПК-3 ИД-2ПК-3 ИД-2ПК-4 ИД-1ПК-4
12	Устный опрос	Локальные U-Th-Pb методы определения возраста.	ИД-1ПК-3 ИД-2ПК-3 ИД-2ПК-4 ИД-1ПК-4
13	Устный опрос	Изотопная геология свинца.	ИД-1ПК-3 ИД-2ПК-3 ИД-2ПК-4 ИД-1ПК-4
14	Устный опрос	Радиоуглеродный метод датирования	ИД-1ПК-3 ИД-2ПК-3

			ИД-2ПК-4 ИД-1ПК-4
15	Устный опрос	Геохимия стабильных изотопов	ИД-1ПК-3 ИД-2ПК-3 ИД-2ПК-4 ИД-1ПК-4
16	Устный опрос	Химическая геодинамика и комплексная интерпретация изотопных данных.	ИД-1ПК-3 ИД-2ПК-3 ИД-2ПК-4 ИД-1ПК-4

Примерный перечень вопросов для текущего контроля в форме устного опроса

1. Что такое радиогенные изотопы?
2. Что такое стабильные изотопы?
3. Что такое изотоп?
4. Что такое изобар?
5. Что такое изотон?
6. Что такое атомная масса?
7. Что такое родительский радионуклид?
8. Что такое дочерний нуклид?
9. Что такое период полураспада?
10. Каковы геохимические свойства рубидия?
11. Каковы геохимические свойства стронция?
12. Каковы основы изохронного метода датирования?
13. Что такое изохона?
14. Каковы геохимические свойства Sm и Nd?
15. Что такая мантийная последовательность в терминах Sr-Nd изотопной систематики?
16. Что такое CHUR?
17. Каковы геохимические свойства Lu и Hf?
18. Каковы геохронологические методы, основанные на радиогенном распаде U и Th?
19. Что такое конкордия?
20. Что такое дискордия?
21. Каковы Sr-Nd изотопные характеристики источенного мантийного источника (DM)?
22. Каковы Sr-Nd изотопные характеристики обогащенного мантийного источника EM-I ?
23. Каковы Sr-Nd изотопные характеристики обогащенного мантийного источника EM-II ?

8.2 Оценочные материалы для промежуточной аттестации

Спецификация тестовых заданий для промежуточной аттестации

Для проведения экзамена по дисциплине «Изотопная геология и геохронология» используется комплект тестовых заданий, которые содержат 6 заданий базового уровня сложности, 2 задания повышенного уровня сложности, 2 задания высокого уровня сложности и направлены на оценку сформированности следующих индикаторов достижения компетенций: ИД-1_{ПК-3}, ИД-2_{ПК-3}, ИД-1_{ПК-4}, ИД-2_{ПК-4}.

Время на выполнение тестовых заданий 60 минут.

Максимальная сумма баллов за правильное выполнение всех тестовых заданий 100.

№ тестового задания	Тип тестового задания	Сценарий выполнения тестового задания*	Уровень сложности	Контролируемый ИДК	Балл
1	Закрытого типа на выбор одного правильного ответа	Выбрать один правильный ответ из приведенных вариантов. Ответ записать в виде буквы в поле ответа.	Базовый	ИД-1 _{ПК-3}	5
2	Закрытого типа на выбор одного правильного ответа	Выбрать один правильный ответ из приведенных вариантов. Ответ записать в виде буквы в поле ответа.	Базовый	ИД-1 _{ПК-3}	5
3	Закрытого типа на выбор одного правильного ответа	Выбрать один правильный ответ из приведенных вариантов. Ответ записать в виде буквы в поле ответа.	Базовый	ИД-1 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-3}	5
4	Закрытого типа на выбор одного правильного ответа	Выбрать один правильный ответ из приведенных вариантов. Ответ записать в виде буквы в поле ответа.	Базовый	ИД-2 _{ПК-3} ИД-1 _{ПК-4} ИД-2 _{ПК-4}	5
5	Закрытого типа на выбор одного правильного ответа	Выбрать один правильный ответ из приведенных вариантов. Ответ записать в виде буквы в поле ответа.	Базовый	ИД-1 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-3}	5
6	Закрытого типа на выбор одного правильного ответа	Выбрать один правильный ответ из приведенных вариантов. Ответ записать в виде буквы в поле ответа.	Базовый	ИД-2 _{ПК-3}	5
7	Открытого типа на формулировку ответа	Записать уравнение / охарактеризовать модель	Высокий	ИД-1 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-3}	25
8	Закрытого типа на установление соответствие	Установить соответствие. Ответ записать в виде комбинации цифр и букв	Повышенный	ИД-1 _{ПК-4}	10
9	Открытого типа - задача	Определить первичное изотопное отношения, используя график	Повышенный	ИД-2 _{ПК-3}	10
10	Открытого типа на формулировку ответа	Записать схему распада / охарактеризовать модель	Высокий	ИД-1 _{ПК-3} ИД-2 _{ПК-3} ИД-1 _{ПК-4} ИД-2 _{ПК-4}	25

Критерии оценивания:

Оценка	Суммарный балл за выполнение тестовых заданий
отлично	85-100
хорошо	74-85
удовлетворительно	60-73
неудовлетворительно	меньше 60

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКЗАМЕНА

Вариант 1

1. Выберете верное определение термина «изотоп».

- А) Разновидность химического элемента с разным числом протонов в атомном ядре
- Б) Разновидность химического элемента с разным числом электронов в электронной оболочке атома
- В) Разновидность химического элемента с разным числом нейтронов в атомном ядре
- Г) Атомы разных химических элементов с одинаковым числом нуклонов

ОТВЕТ: _____

2. Какой из изотопов стронция является радиогенным и образовался за счет распада ^{87}Rb ?

- А) ^{84}Sr
- Б) ^{86}Sr
- В) ^{87}Sr
- Г) ^{88}Sr

ОТВЕТ: _____

3. Каким геологическим событиям соответствуют «нижнее» и «верхнее» пересечение дискордии с конкордией на диаграмме $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} - ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$?

- А) Верхнее пересечение – возраст образования породы, а нижнее – возраст метаморфизма.
- Б) Верхнее пересечение – возраст метаморфизма, а нижнее – возраст породы.
- В) Точки пересечения дискордии с конкордией не дают представления об эпизодах геологических событий.
- Г) Верхнее и нижнее пересечения отражают период кристаллизации цирконов в магматическом расплаве

ОТВЕТ: _____

4. Какой из перечисленных общедоступных свободно распространяемых программных продуктов позволяет решать комплекс графических и расчетных задач для трекового датирования (U-Pb , Pb-Pb , Th-Pb , $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, K-Ca , Rb-Sr , Sm-Nd ,

Lu-Hf, Re-Os и др.) и неравновесного датирования U-серии, а также детритовой геохронологии?

- А) COMAGMAT
 - Б) IsoplotR
 - В) PetroExplorer
 - Г) VESTA
- ОТВЕТ _____

5. На что указывают отрицательные значения величины $\delta^{18}\text{O}$?

- А) изотопный состав $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ образца обогащен относительно стандарта SMOW.
- Б) изотопный состав $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ образца обеднен относительно стандарта SMOW.
- В) изотопный состав $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ имеет такие же значения как стандарта SMOW.
- Г) изотопный состав $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ не может иметь отрицательных значений

ОТВЕТ _____

6. Каким из перечисленных методов можно оценить возраст единичных зерен детритовых цирконов?

- А) U-Pb LA-ICP-MS методом
 - Б) K-Ar методом
 - В) U-Pb SRIMPH методом
 - Г) Rb-Sr методом
- ОТВЕТ _____

7. Запишите основополагающее уравнение изотопного датирования, решенное относительно t и дайте краткое пояснение обозначений в формуле.

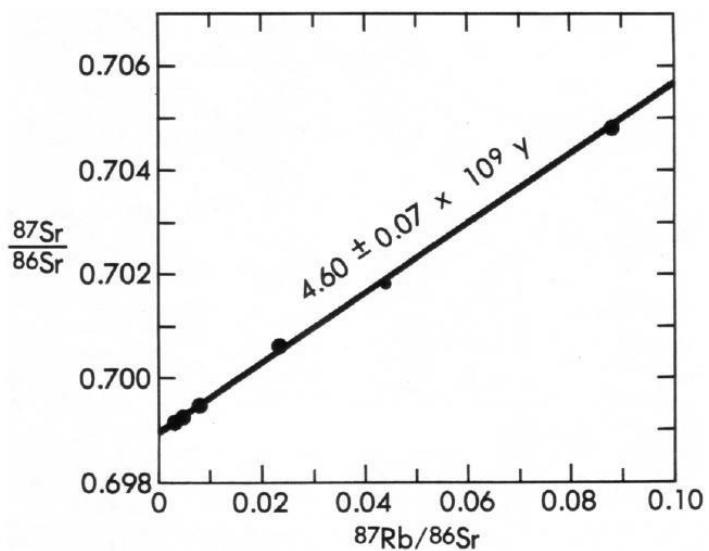
ОТВЕТ:

8. Установите соответствие между материнским изотопом и конечным продуктом его распада – дочерним изотопом. Ответ запишите в пустые клетки таблицы в виде соответствующих букв, отвечающих варианту материнского изотопа.

- А) ^{238}U
- Б) ^{235}U
- В) ^{232}Th
- Г) ^{147}Sm

Материнский изотоп				
Дочерний изотоп	^{143}Nd	^{206}Pb	^{207}Pb	^{208}Pb

9. Установите по изохронной диаграмме $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - ^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ первичное значение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(0)}$ в момент образования породы. Ответ округлите до третьего знака после запятой.



ОТВЕТ: _____

10. Почему при частичном плавлении CHUR образующийся расплав будет иметь более низкие Sm/Nd, а кристаллизующиеся из этого расплава горные породы будут иметь более низкие 143Nd/144Nd относительно CHUR?

Вариант 2

1. Выберете верное определение термина «радиоактивный изотоп».

- А) Изотоп химического элемента, период полураспада которого стремится к бесконечности
- Б) Изотоп химического элемента, ядра которого являются неустойчивыми и с течением определенного промежутка времени самопроизвольно распадаются в другой изотоп.
- В) Изотоп химического элемента, являющийся конечным продуктом распада (ядерных превращений) стабильного изотопа
- Г) Изотоп химического элемента, ядра которого являются устойчивыми и не испытывают тенденцию к самопроизвольного распада.

ОТВЕТ: _____

2. Какой из изотопов свинца образовался за счет радиоактивного распада ^{232}Th ?

- А) ^{204}Pb
- Б) ^{206}Pb
- В) ^{207}Pb
- Г) ^{208}Pb

ОТВЕТ: _____

3. Как изменяется число протонов и нейтронов в ядре нестабильного изотопа при альфа-распаде?

- А) число протонов не изменится, число нейтронов уменьшится на два
Б) число протонов уменьшится на два, число нейтронов не изменится
В) число протонов уменьшится на два, число нейтронов уменьшится на два
Г) число протонов и нейтронов не изменится.

ОТВЕТ: _____

4. Какой из перечисленных программных продуктов позволяет решать вопросы изотопной геохронологии, в частности рассчитывать U-Pb изотопный возраст пород и минералов?

- А) COMAGMAT
Б) IsoplotR
В) PetroExplorer
Г) VESTA
ОТВЕТ _____

5. На что указывают положительные значения величины $\delta^{18}\text{O}$?

- А) изотопный состав $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ образца обогащен относительно стандарта SMOW.
Б) изотопный состав $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ образца обеднен относительно стандарта SMOW.
В) изотопный состав $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ имеет такие же значения как стандарта SMOW.
Г) изотопный состав $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ не может иметь положительных значений

ОТВЕТ _____

6. Каким из перечисленных изотопных методов можно оценить возраст геологического события, произошедшего в голоцене?

- А) Rb-Sr
Б) K-Ar
В) U-Pb
Г) ^{14}C метод датирования

ОТВЕТ _____

7. В рамках какой изотопной системы применяется модель CHUR. Что понимается под CHUR?

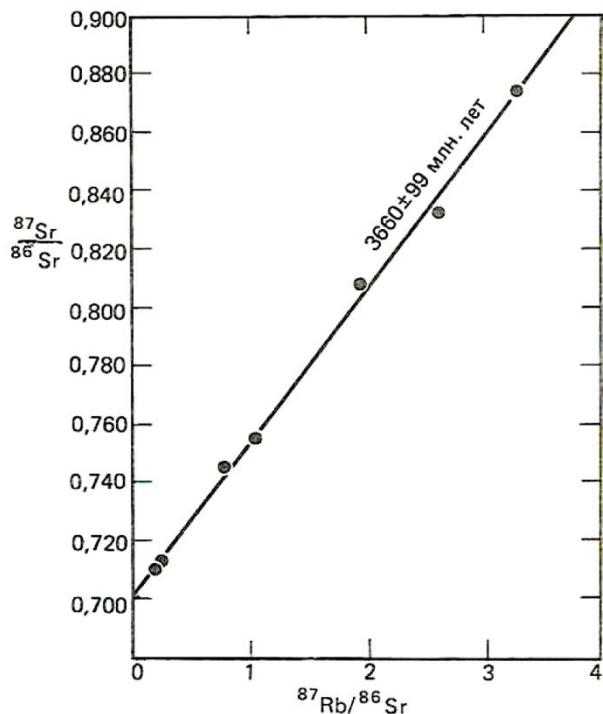
ОТВЕТ:

8. Установите соответствие между материнским изотопом и конечным продуктом его распада – дочерним изотопом. Ответ запишите в пустые клетки таблицы в виде соответствующих букв, отвечающих варианту материнского изотопа.

- А) ^{40}K
Б) ^{87}Rb
В) ^{235}U
Г) ^{176}Lu

Материнский изотоп				
Дочерний изотоп	^{176}Hf	^{207}Pb	^{40}Ar	^{87}Sr

9. Установите по изохронной диаграмме $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ – $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ первичное значение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(0)}$ в момент образования породы. Ответ округлите до третьего знака после запятой.



ОТВЕТ: _____

10. Напишите схему β -распада для изотопа калия с массовым числом 40, в том числе укажите дочерний продукт распада.

КЛЮЧИ ПРАВИЛЬНЫХ ОТВЕТОВ К ТЕСТОВЫМ ЗАДАНИЯМ

Номер тестового задания	Правильные ответы	
	Вариант 1	Вариант 2
1	В	Б
2	В	Г
3	А	В
4	Б	Б
5	Б	А
6	АВ	Г
7	$t = \frac{1}{\lambda} \frac{(D - D_0)}{N} + 1$; где λ – константа распада, D – число атомов дочернего изотопа, D_0 – первоначальное атомов дочернего изотопа, N – число атомов родоначального	Модель CHUR разработана в рамках модели однородного хондритового резервуара для описания изотопной эволюции неодима на Земле. Данная модель предполагает, что земной неодим эволюционировал в однородном резервуаре, в котором Sm/Nd равно этому отношению в

	изотопа.	хондриевых метеоритах. При возникновении парциального плавления Sm/Nd и $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ будет изменяться в сторону пониженных или повышенных значений, отражая обедненность или обогащенность ими генерируемых расплавов и рестиевой фазы соответственно.
8	<p><i>Вариант ответа 1</i></p> <p>$^{147}\text{Sm} - ^{143}\text{Nd}$ $^{238}\text{U} - ^{206}\text{Pb}$ $^{235}\text{U} - ^{207}\text{Pb}$ $^{232}\text{U} - ^{208}\text{Pb}$</p> <p><i>Вариант ответа 2</i></p> <p>Г – ^{143}Nd А – ^{206}Pb Б – ^{207}Pb В – ^{208}Pb</p>	<p><i>Вариант ответа 1</i></p> <p>$^{176}\text{Lu} - ^{176}\text{Hf}$ $^{235}\text{U} - ^{207}\text{Pb}$ $^{40}\text{K} - ^{40}\text{Ar}$ $^{87}\text{Rb} - ^{87}\text{Sr}$</p> <p><i>Вариант ответа 2</i></p> <p>Г – ^{176}Hf В – ^{207}Pb А – ^{40}Ar Б – ^{87}Sr</p>
9		0,700 или 0,701
10	Самарий (Sm) – является более совместимым (когерентным) химическим элементом по сравнению с неодимом (Nd). При частичном плавлении некоторого источника, расплав будет обогащаться более несовместимым неодимом, а рестиовая фаза – самарием. Поэтому расплав и породы, образованные при его кристаллизации будут иметь более низкие Sm/Nd. Породы, образованные при кристаллизации такого расплава также будут иметь более низкий изотопный состав $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ по сравнению с CHUR, поскольку ^{143}Nd образуется за счет распада ^{147}Sm .	$^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ca} + \beta^- v + E$

Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену:

1. Внутреннее строение атомов. Систематика ядер. Изотопы, изобары, изотоны.
2. Атомная масса.
3. Закон радиоактивного распада (для случая превращения родительского радионуклида в стабильный нуклид)

4. Период полураспада нуклида.
5. Общий вид основного уравнения, используемого для определения возраста пород и минералов по методам, основанным на процессе превращения родительского радионуклида в дочерний стабильный нуклид.
6. Геохимия Rb и Sr
7. Датирование рубидий содержащих минералов в магматических породах.
8. Датирование магматических пород. Изохронный метод датирования. Изохронная диаграмма.
9. Датирование метаморфических пород. Стронциевая эволюционная диаграмма, показывающая изотопную гомогенизацию минералов породы в результате термального метаморфизма.
10. Химические составы двухкомпонентных смесей.
11. Двухкомпонентные смеси, имеющие различные отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.
12. Геохимия Sm и Nd.
13. Определение возраста Sm-Nd методом и его особенности.
14. Понятие CHUR, изотопная эволюция Nd в хондритовом однородном резервуаре и величина эпсилон.
15. Величина эпсилон Nd.
16. Модельные датировки в Sm-Nd изотопной системе.
17. Изотопная геология Nd и Sr в магматических горных породах. Понятие о мантийной последовательности.
18. Корреляционная Nd-Sr изотопная диаграмма и ее интерпретация. Квадрант II.
19. Корреляционная Nd-Sr изотопная диаграмма и ее интерпретация. Квадрант III.
20. Корреляционная Nd-Sr изотопная диаграмма и ее интерпретация. Квадрант IV.
21. Причины изотопной неоднородности мантии в малом масштабе.
22. Причины глобальной изотопной неоднородности мантии.
23. Природа и характеристики мантийного источника DMM (истощенная мантия MORB-типа).
24. Природа и характеристики мантийного источника EM II (обогащенная мантия второго типа).

Автор-составитель

*Зав. лабораторией геохимии изотопов
к.г.м.-н., с. н. с.*

С.И. Дриль

*Настоящая программа, не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения отдела магистратуры и аспирантуры ИГХ
СО РАН.*