

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
(ФИЦ КНЦ РАН)

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

По дисциплине Б1.В.05 Современная петрологическая геохимия и геодинамика
указывается цикл (раздел) ОП, к которому относится дисциплина, название дисциплины

Для направления подготовки (специальности) 05.04.01 Геология
код и наименование направления подготовки (специальности)

Направленность программы (профиль) Прикладная геохимия, минералогия и петрологи
наименование профиля /специализаций/образовательной программы

Квалификация выпускника, уровень подготовки магистр
(указывается квалификация (степень) выпускника в соответствии с ФГОС ВО)

Апатиты

2020

Лист согласования

1 Разработчик:

профессор
должность

УАиМ


подпись

Т.В. Каулина
И.О. Фамилия

2. Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании учебно-методической комиссии управления аспирантуры и магистратуры 29 июня 2020 года, протокол № 02.

Председатель УМК УАиМ

29.06.2020
дата


подпись

Л.Д. Кириллова
И.О.Фамилия

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

1. Методические указания составлены в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта по образовательной программе высшего образования – программе магистратуры по направлению подготовки 05.04.01 Геология, утвержденного приказом Минобрнауки России от 28.08.2015 г. № 912.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

2. Цель дисциплины: дать основы современных методов и подходов в комплексном (петрологическом, минералогическом, изотопно-геохимическом) исследовании процессов петрогенезиса, позволяющие проводить квалифицированную геодинамическую интерпретацию.

Задачи дисциплины:

- дать представление о современных и древних геодинамических обстановках, характеризующих геологическую эволюцию Земли;
- о поведении главных и рассеянных элементов в геологических процессах;
- о геохимии изотопов и об использовании изотопов при изучении геологических процессов.

В результате освоения программы дисциплины «Современная петрологическая геохимия и геодинамика» студенты направления 05.04.01 Геология

Знать:

- геохимические основы поведения главных петрогенных микроэлементов в геологических процессах;
- основы изотопной геохимии Sr, Nd, Pb, позволяющие проводить геодинамический анализ на основе данных об изотопных источниках;
- роль микроэлементов как индикаторов геодинамических обстановок.

Уметь:

- производить расчет моделей кристаллизации и частичного плавления магматических расплавов на основе данных по коэффициентам распределения минерал-расплав;
- строить хондрит-нормализованные графики распределения редкоземельных элементов и спайдердиаграммы;
- рассчитывать коэффициенты распределения, валовые Кд, коэффициенты сокристаллизации;
- рассчитывать первичные изотопные отношения Sr, Nd и строить графики модельного возраста.

Владеть: навыками работы с химическим и изотопным составом пород разного генезиса, программами Excell, ISOPLOT, GCD-kit или любой другой сходной петрохимической программой.

2. Планируемые результаты обучения в рамках данной дисциплины

Процесс изучения дисциплины (модуля) «Современная петрологическая геохимия и геодинамика» направлен на формирование элементов компетенций в соответствии с ФГОС

ВО 05.04.01 Геология (уровень магистратуры). Результаты формирования компетенций и обучения представлены в таблице.

Таблица 1 – Результаты обучения

№ п/п	Код компетенции	Компоненты компетенции, степень их реализации	Результаты обучения
1.	ОК – 3. Готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала.	Компоненты компетенции соотносятся с содержанием дисциплины, компетенция реализуется полностью	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные понятия, цели, задачи петрологической геохимии и геодинамики. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - формулировать цели и определять пути их достижения; - находить информацию в различных источниках. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методами сбора информации, ее обработки и анализа.
2.	ОПК – 1. Способность самостоятельно приобретать, осмысливать, структурировать и использовать в профессиональной деятельности новые знания и умения, развивать свои инновационные способности.	Компоненты компетенции соотносятся с содержанием дисциплины, компетенция реализуется полностью	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные проблемы и задачи петрологической геохимии и геодинамики. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - самостоятельно анализировать и систематизировать новые знания; - структурировать и использовать новые знания; - развивать инновационные способности. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методами адаптации новых знаний в профессиональной деятельности.
3.	ПК – 1. Способность формировать диагностические решения профессиональных	Компоненты компетенции соотносятся с содержанием дисциплины,	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - базовые понятия фундаментальных разделов петрологической геохимии и

	<p>задач путем интеграции фундаментальных разделов геологических наук и специализированных знаний, полученных при освоении программы магистратуры.</p>	<p>компетенция реализуется полностью</p>	<p>геодинамики.</p> <p>Уметь:</p> <p>- формировать диагностические решения профессиональных задач путем интеграции фундаментальных разделов петрологической геохимии и геодинамики.</p> <p>Владеть:</p> <p>- методами интеграции фундаментальных разделов петрологической геохимии и геодинамики.</p>
--	--	--	---

Перечень дисциплин и их разделов, усвоение которых необходимо студентам для изучения данной дисциплины.

- Петрология – понятия о горных породах, структурах земной коры и причинах их формирования; минеральный и химический состав магматических и метаморфических горных пород, их номенклатура, структурно-текстурные особенности, форма залегания и геодинамические условия формирования
- Минералогия - классификация и номенклатура породообразующих и рудных минералов, их физические и химические свойства
- Геохимия – поведение породообразующих элементов в различных геологических процессах

Таблица 2 - Перечень практических работ

№ п/п	Наименование практических работ	Количество часов	Наименование темы по табл. 4
1 семестр			
1.	Коэффициенты распределения элементов. Фракционирование элементов в процессах плавления.	2	2
2.	Современные аналитические методы. Построение РЗЭ и мультиэлементных спайдер-диаграмм для пород и минералов.	2	3
3.	Изучение программы GCDkit-2.3	6	4
4.	Расчет значений эpsilon Nd и Sr. Расчет модельного возраста относительно однородного хондритового резервуара и деплетированной мантии. Программа ISOPLOT.	4	5
5.	Геохимический состав коры и мантии. Изотопные резервуары. Построение Sr-Nd диаграмм.	1	6
6.	Вариационные диаграммы петрогенных элементов. Диаграммы Харкера, Феннера.	4	7
7.	Особенности геохимии магм, возникающих в континентальных рифтах и зонах субдукции.	4	8-9
8.	Особенности геохимии магм, возникающих в активных континентальных окраинах.	3	10
9.	Контрольная работа «Использование современных петрологических методов в комплексном исследовании процессов петрогенезиса»	2	1-10
Всего часов		28,0	

Рекомендации к выполнению практических работ

Практическое задание № 1.

Тема: «Коэффициенты распределения элементов. Фракционирование элементов в процессах плавления».

Мерой когерентности-некогерентности элемента является его коэффициент распределения между твердой фазой и расплавом - **Кр**, равный отношению концентраций элемента в твердой фазе и расплаве $K_r = C_s / C_l$, где C_s и C_l – концентрации в твердой фазе и расплаве, соответственно.

Данное определение K_r широко используется при петрологическом моделировании. Исходя из такого определения коэффициента распределения, несовместимые элементы имеют $K_r < 1$, а совместимые – $K_r > 1$. В условиях равновесия при постоянных P и T коэффициент распределения является константой для данной системы. Коэффициенты распределения зависят от состава минерала и расплава, T и P .

Поскольку в магматических системах расплав равновесен более чем с одной твердой фазой, то используется суммарный коэффициент распределения $[D]$, определяемый по уравнению: $D = \sum K_{rj} \times X_i$, где K_{rj} и X_i – коэффициент распределения j элемента и доля i минеральной фазы, так что $\sum X_i = 1$.

Пример расчета суммарного коэффициента распределения:

Если мы имеем породу, состоящую на 50% из оливина, на 30% из ортопироксена и на 20% из клинопироксена, то суммарный коэффициент распределения рассчитывается как $D = 0,5K_{rOl} + 0,3K_{rOrx} + 0,2K_{rСrx}$. При известных коэффициентах распределения для Ol , Orx и $Сrx$.

Практическое задание № 2.

Тема: «Современные аналитические методы. Построение РЗЭ и мультиэлементных спайдер-диаграмм для пород и минералов».

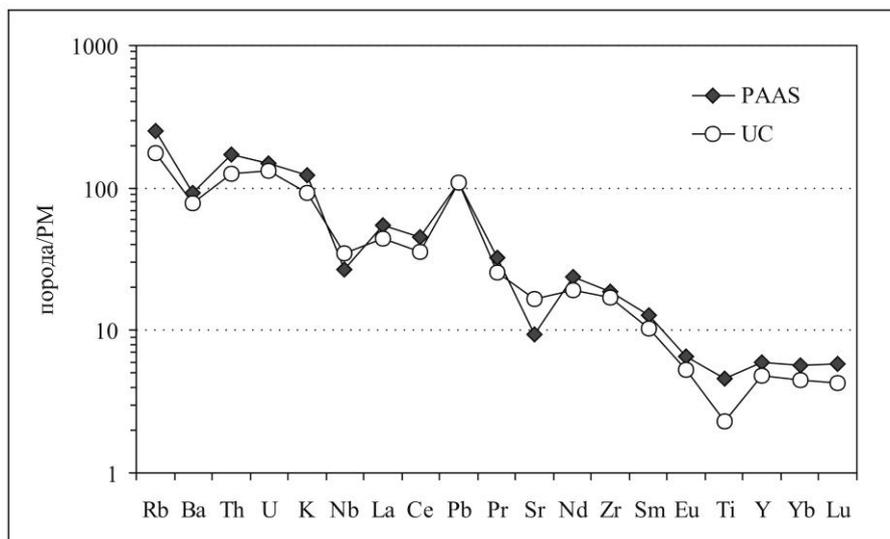
Измеренные значения РЗЭ (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) нормализуются на соответствующие значения в хондрите $C1$ (McDonough W.F. and Sun S., 1995); Rb, Ba, Th, Nb и др. некогерентные элементы для построения мультиэлементных диаграмм нормализуются на соответствующие значения в примитивной мантии (по Treatise on Geochem., 2003).

			C1	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
				0,2446	0,6379	0,0964	0,4738	0,1540	0,0580	0,2043
Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				
0,0375	0,2541	0,0567	0,1660	0,0256	0,1651	0,0254				

PM	Rb	Ba	Th	Nb	Ta	La	Ce	Sr	Nd	Zr	Hf	Sm
	0,635	6,99	0,085	0,713	0,041	0,687	1,78	21,1	1,35	11,2	0,309	0,44
Gd	Tb	Y	Yb	Lu								
0,596	0,108		4,55	0,493	0,074							

Построение диаграмм осуществляется в программе Excell, выбирается опция «нестандартные диаграммы», масштаб логарифмический. Подписи по оси *x* – элементы, по оси *y* – «порода/хондрит», либо «порода/PM»

Пример:



Мультиэлементные спектры постархейского глинистого сланца (PAAS) и верхней коры (UC) по данным [Тейлор, Мак-Леннан, 1988]. Нормировано по примитивной мантии (Sun, McDonough, 1989)

Практическое задание № 3.

Тема: «Изучение программы GCDkit-2.3».

GeoChemical Data ToolKit - система для обработки и расчетов анализов вулканических пород. Написана на языке R, предназначенного для статистических вычислений и их графического отображения, поэтому для установки и использования предварительно необходимо установить интерпретатор языка R. Авторы - сотрудники чешской геологической службы

Войтек Янушек и Войтек Эрбан, а также сотрудник университета Глазго Колин Фэрроу (Janousek, Farrow, Erban, 2006). Последняя версия - 2.3, 2008 г.

Основные функции и свойства программы:

- Стандартные геохимические вычисления, основанные на данных химического состава пород, в том числе редкоземельного и изотопного.
- Эффективное управление данными, их поиск и сортировка.
- Отображение аналитических и расчетных данных на различных типах дискриминационных диаграмм (двумерных, треугольных и спайдер-диаграммах).
- Подготовка графического аналитического материала для публикации
- Модульная компоновка, позволяющая пользователям легко расширять функциональность программы и модифицировать ее согласно решаемым задачам.

Расчетные методы GCDkit представлены различными нормализациями: SIPW в редакции Хатчинсона, катанормы Ниггли и мезонормы для гранитоидов, вычислениями большого набора петрохимических модулей и индексов, необходимых для дискриминационных диаграмм и т.п. В графический пакет входит 35 дискриминационных диаграмм, разделенных на две группы: классификационные диаграммы и геотектонические диаграммы. GCDkit может импортировать данные из файлов разных форматов. В первую очередь из однотабличных файлов баз данных dBase (которые используют такие программы как IgPet и MinPet, а также типа MS Access. Данные также можно импортировать из электронных таблиц MS Excel. Свои данные программа сохраняет в структурированных текстовых файлах формата .DATA, могут быть экспортированы в таблицы MS Excel и базы данных MS Access. GCDkit распространяется свободно и бесплатно, последнюю версию и соответствующую версию интерпретатора языка R вместе можно скачать на сайте программы. Все пояснения находятся в программе в файле Manual.

Практическое задание № 4.

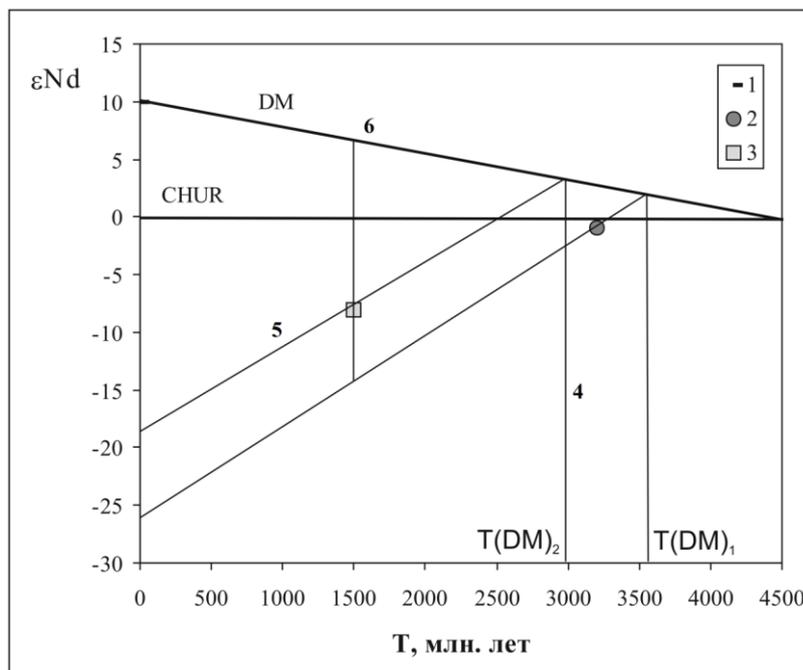
Тема: «Расчет значений эpsilon Nd и Sr. Понятие о Sr и Nd модельном возрасте. Расчет модельного возраст относительно однородного хондритового резервуара и деплетированной мантии. Программа ISOPLOT.».

Расчет Sm-Nd модельного возраста производится в программе Excell без использования программы ISOPLOT. Для расчета используются уже

введенные формулы с общепринятыми константами для деплетированной мантии (DM) и хондритового резервуара (CHUR).

Построение графика «эпсилон неодима – возраст» производится в программе Excell, используя меню диаграмм. Используются рассчитанные значения модельного возраста, возраста кристаллизации породы (определенные либо по Sm-Nd изохроне, либо U-Pb методом по циркону), а также значения «эпсилона неодима» для возраста кристаллизации и на время отделения от деплетированной мантии. Для построения линии DM используются две точки с координатами возраст-эпсилон неодима для этого возраста, исходя из известных параметров эволюции деплетированной мантии (например, 2700 млн. лет - 4,16; и 1500 млн. лет – 6,78). По этим точкам проводим линию тренда. Используя меню диаграмм, наносим наши точки в координатах «возраст кристаллизации – эпсилон неодима». Затем наносим для каждого образца «точку модельного возраста» на линии деплетированной мантии. Соединяем и получаем линию эволюции изотопного состава неодима в образце после отделения расплава от деплетированной мантии.

Пример:



Изотопные составы Nd и Sr магматических пород коррелируют между собой. Отрицательная корреляционная зависимость для базальтов срединно-океанических хребтов и океанических островов получила название мантийной последовательности. Линейная зависимость изотопных отношений Nd и Sr была использована для определения $^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr}$ и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ отношений для Земли,

которые согласовывались бы с изотопными данным, полученным для Nd. Современное $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ отношение для резервуара CHUR находится в интервале от 0,7045 до 0,7055. Если использовать данные только для базальтов океанических хребтов (MORB) и полагать, что на время 4,6 млрд. лет отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ во всей Земле было равным таковому BABI, тогда современное $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ отношение должно составлять 0,7045 [Фор, 1989]. Исходя из этого значения, можно аналогично определить параметры ϵSr , а недифференцированный примитивный мантийный резервуар для Sr получил название однородного резервуара – UR.

Нанося рассчитанные значения на диаграмму, получаем информацию о составе источника (смотри рисунок).

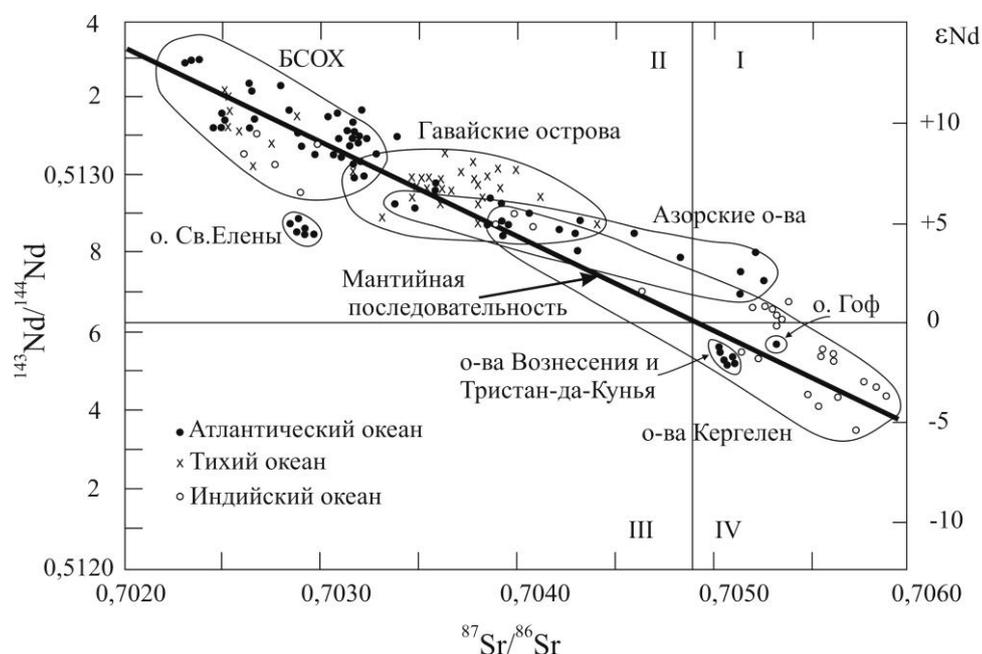


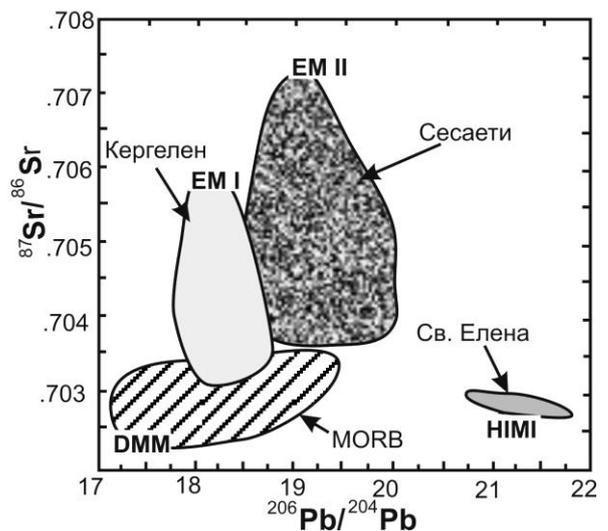
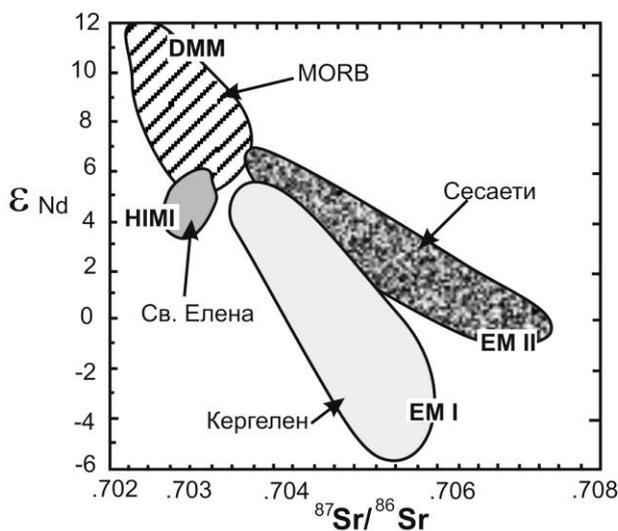
Диаграмма ϵNd - ϵSr . Четыре квадранта (I и III – запрещенные). II - «мантийная последовательность», источники базальтов с такими изотопными составами представлены остаточными твердыми фазами после более раннего эпизода плавления мантийного материала, т. е. соответствуют деплетированной мантии. IV - породы, образованных из источников, обогащенных Rb и Nd. Среди пород мантийного происхождения сюда попадают, например, внутриплитные базальты океанических островов и континентальных провинций. Здесь также сосредоточены все породы корового происхождения или со значительным участием корового материала в их образовании. Обогащенные (коровые и мантийные) источники.

Практическое задание № 5.

Тема: «Использование радиогенных изотопов в решении вопросов петрогенезиса. Изотопные резервуары в океанической мантии (DM, HIMU, EM I, EM II, PREMA)».

Основные мантийные резервуары [Zindler, Hart, 1986]:

- **HIMU** (high μ - компонент с высоким μ ; где $\mu=^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$) имеет самые высокие изотопные отношения Pb ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} > 20,5$; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) и самое низкое $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ из любых OIB, близкое к MORB). Примеры: о-ва Святой Елены, Кук-Аустрал, Балени и Азоры.
- **EM I** (enrich mantle 1 – обогащенная мантия первого типа) имеет самое низкое отрицательное ϵNd , умеренно высокое $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и низкое $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. Примеры: горячие точки Питкэрн и Тристан, плато Кергелен.
- **EM II** (enrich mantle 2 – обогащенная мантия второго типа) имеет самое высокое $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, низкое отрицательное ϵNd и повышенные $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. Примеры: горячие точки Сесаyeti, Самоа и Марквесес.
- **DM** (depleted mantle - деплетированная MORB мантия) определена на основании крайних изотопных составов MORB и обладает наивысшим положительным ϵNd и самыми низкими $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$.



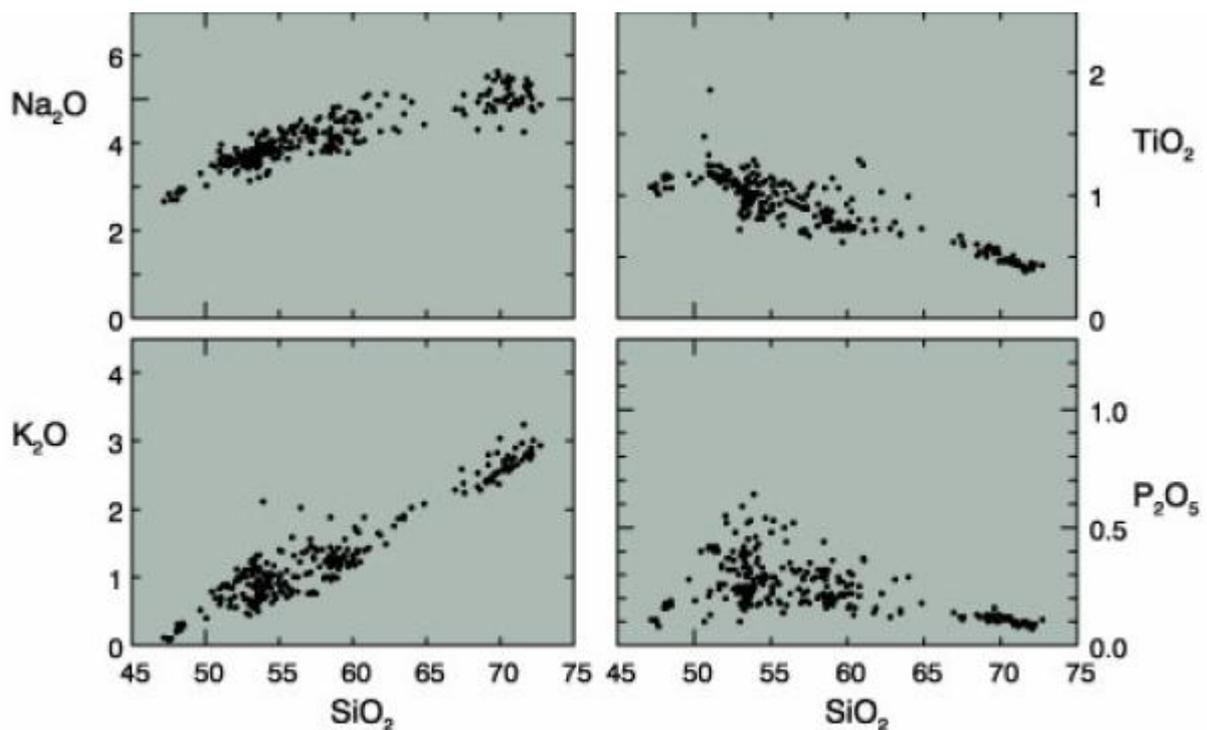
Практическое задание № 6.

Тема: «Вариационные диаграммы петрогенных элементов. Диаграммы Харкера, Феннера».

Наиболее простым типом вариационных диаграмм являются петрохимические бинарные диаграммы. Существуют **диаграммы Харкера**. – это тип диаграмм, на которой по оси X откладывается SiO_2 в мас.%, а по оси Y содержания петрогенных окислов в мас.%. Предложены Харкером для описания эволюции магматических серий. При этом, SiO_2 выступает индикатором степени дифференциации. В диаграммах Феннера – в качестве индикатора степени фракционирования используется MgO .

Построение можно выполнять в программе Excel – точечные диаграммы. Показателем того, что набор данных относится к петрохимической серии, является наличие сублинейного петрохимического тренда.

Пример диаграммы Харкера:



Практическое задание № 7.

Тема: «Особенности геохимии магм, возникающих в зонах субдукции, срединно-океанических хребтах, океанических островах».

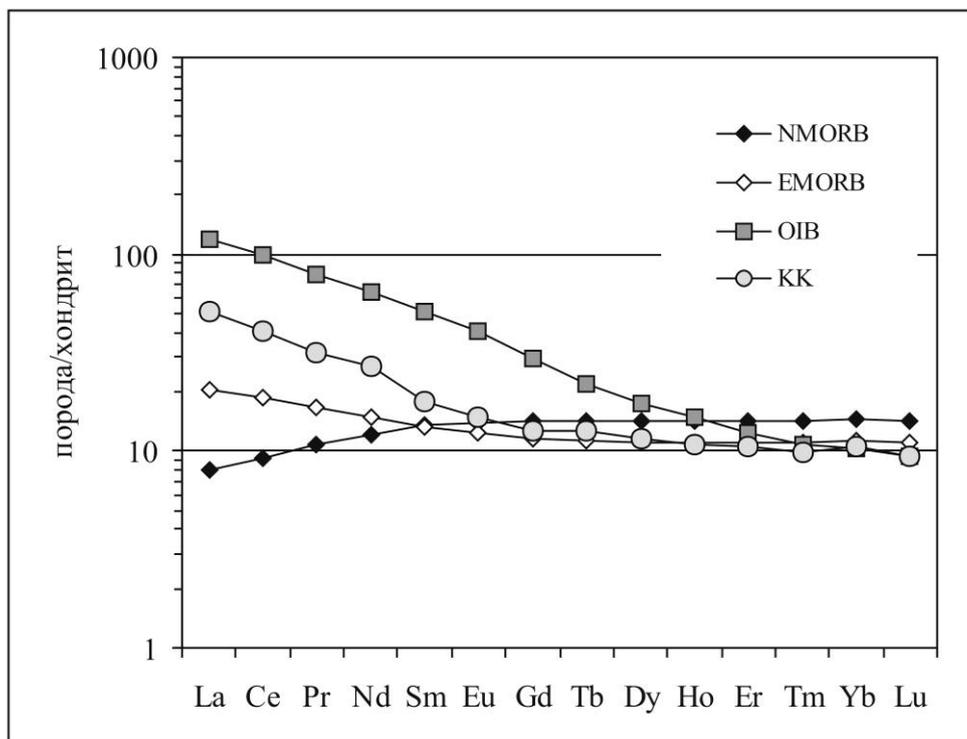
Для характеристики состава мантии используют океанические базальты: базальты срединно-океанических хребтов – MORB (*Mid-Ocean Ridge basalt*) и океанических островов – OIB (*Ocean island basalt*), поскольку океанические базальты представляют относительно большие объемы мантии и не контаминированы коровым материалом при перемещении к поверхности.

MORB деплетированы легкими лантаноидами, а OIB, напротив, обогащены ими. Ободрение MORB более некогерентными легкими РЗЭ предполагает деплетированный характер их мантийного источника вследствие предшествующего удаления расплава. Комплементарное накопление легких РЗЭ происходит в континентальной коре (КК) – резервуаре, обогащенном несовместимыми элементами.

В отличие от MORB базальты океанических островов в той или иной степени обогащены легкими РЗЭ, что указывает на недеплетированный характер их источника. Различия между MORB и OIB могут быть связаны с меньшей степенью плавления, при которой образуются OIB, но главной причиной является различное содержание легких лантаноидов в их мантийных источниках.

Магмы, возникающие в зонах субдукции, наиболее окислены по сравнению с другими геотектоническими обстановками, и отличаются по степени контаминации коровым веществом: малая контаминация породами коры в островных дугах и сильная контаминация породами коры в активных континентальных окраинах.

Построение распределения РЗЭ строится по стандартной схеме в программе Excel. Для распознавания магм надо обращать внимание на легкие РЗЭ.



Распределение РЗЭ для срединно-океанических хребтов, океанических островов и пород коры.

Практическое задание № 8.

Тема: «Изотопная геохимия свинца. Конкордии и дискордии. Мантийный свинец. Свинец земной коры».

Эволюция изотопного состава Pb Земли описывается моделями: одностадийная модель Холмса – Хаутерманса и двухстадийная модель Стейси – Крамерса. Первая модель предполагает первоначальную гомогенность Земли в отношении распределения U, Th, Pb и одинаковый изотопный состав первозданного Pb. Вторая предполагает два резервуара, в которых происходило фракционирование и появление региональных различий в U/Pb и Th/Pb отношениях, что привело за счет радиоактивного распада к появлению различий в изотопном составе Pb (при образовании минералов обыкновенного Pb, свинец отделялся от U и Th и далее его изотопный состав оставался постоянным).

Большинство минералов не являются замкнутыми системами и могут терять или приобретать после кристаллизации Pb, U, Th или промежуточные дочерние продукты распада, поэтому эти три датировки часто не согласуются. Для определения возраста используется графический метод с построением U-

Pb конкордии в программе ISOPLOT. В диалоговом окне выбираются опции: U-Pb метод, затем - нормальная конкордия (или инвертированная, или конкордия Терра-Вассербурга, в зависимости от задач). Затем выбираются в таблице координаты всех точек для данной породы и наносятся на график с построением дискордии.

Для построения Pb-Pb диаграмм в программе ISOPLOT используются варианты для ^{207}Pb - ^{206}Pb или ^{208}Pb - ^{206}Pb , после построения дискордии на построенную диаграмму можно добавить модельную линию эволюции обыкновенного свинца.

Практическое задание № 9.

Контрольная работа «Использование современных петрологических методов в комплексном исследовании процессов петрогенезиса»

Контрольная работа выполняется в виде теста. В каждом варианте контрольной работы по 30 вопросов, охватывающих весь изученный материал. Примерный вариант контрольной работы

1	Н, N и инертные газы относятся к группе элементов: а) халькофильные б) атофильные в) сидерофильные
2	Со временем отношение изотопов $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ в обыкновенном свинце: а) уменьшается б) увеличивается с) не меняется
3	При каком механизме распада образуются атомы гелия: а) β^+ - распад а) β^- - распад с) α - распад
4	Как меняется скорость радиоактивного распада со временем? а) увеличивается б) уменьшается с) постоянна
5	Перечислить наиболее важные группы несовместимых элементов
6	Sm/Nd отношения в ходе фракционной кристаллизации а) не меняется б) увеличивается с) уменьшается
7	Распространенность химических элементов в природе подчиняется следующему правилу: а) распространенность увеличивается с ростом заряда ядра

	б) распространенность не зависит от заряда ядра в) распространенность уменьшается с ростом заряда ядра
8	Совместимые элементы по мере кристаллизации расплава накапливаются в: а) твердой фазе б) в остаточном расплаве в) распределяются равномерно
9	Коэффициент распределения это – а) мера когерентности-некогерентности элемента б) отношению концентраций элемента в твердой фазе и расплаве в) отношению концентраций элемента в расплаве и твердой фазе
10	Породы какого состава обогащены ураном и торием? а) базиты б) граниты
11	На диаграмме $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ vs $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в каком квадранте находятся обедненные источники? а) I б) II в) III г) IV
12	Океанические базальты, обедненные легкими лантаноидами относятся к: а) MORB б) OIB в) островным дугам
13	В континентальной коре концентрации элементов уменьшаются в порядке увеличения совместимости элементов, исключение составляют «аномальные» элементы: а) Nb, Pb б) Ti в) Cr, V, Y
14	По приведенной изохроне определить первичное отношение изотопов Nd при кристаллизации породы <div style="text-align: center;"> </div>
15	В Rb-Sr методе возраст определяется а) отрезком, отсекаемым на оси Y б) наклоном изохроны в) проекцией точек на ось X
16	При $\epsilon\text{Nd}=+2$, источником породы был: а) CHUR б) кора

	с) мантия
17	Содержание совместимого элемента: а) зависит от степени плавления б) почти не зависит от степени плавления
18	Фракционное плавление – это а) порции расплава сразу удаляются от источника б) порции расплава постоянно, но не полностью удаляются от источника в) расплав проходит через породу и каждый минерал реагирует и уравнивается с расплавом
19	При фракционной кристаллизации содержания совместимых элементов в остаточном расплаве а) увеличиваются, б) уменьшается
20	Какой из методов является локальным? а) ID-TIMS б) ICP-MS с) EMP
21	В ходе фракционной кристаллизации магмы Zr и Ba концентрируются в: а) жидкой фазе б) твердой фазе
22	Базальты океанических островов обогащены легкими РЗЭ, что указывает на а) недеплементированный характер их источника б) деплементированный характер источника
23	За понижение содержания средних РЗЭ в спектре пород отвечает а) Grt б) Kfs в) роговая обманка
24	Толеиты – это что? а) магматическая серия б) магматическая формация в) геологическая формация
25	Какая серия не относится к основным петрохимическим сериям: а) толеитовая б) бонинитовая в) известково-щелочная
26	Эволюция первичных магм обусловлена: а) кристаллизационной дифференциацией б) температурой и давлением в) взаимодействием с вмещающими породами
27	Индикаторной для геодинамической обстановки островных дуг являются а) Толеитовая и известково-щелочная серия б) бонинитовая и субщелочная в) бонинитовая и адакитовая
28	Лампроитовый магматизм встречается в: а) активных окраинах андского типа б) внутриплитном магматизме в) океанических островах
29	Среди пород континентальных окраин андского типа толеитовые серии а) преобладают б) встречаются в) редки
30	Диаграммы Пирса основаны на разделении:

- | | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none">а) петрогенных элементовб) несовместимых элементовв) совместимых элементов |
|--|--|

Рекомендуемая литература

Основная:

1. Граменецкий Е.Н. Петрология метасоматических пород: учебник. – М.: ИНФРА-М, 2012. – 221с.
2. Короновский Н.В., Демина Л.И. Магматизм как индикатор геодинамических обстановок. Учебное пособие. Москва. 2011. 234 с.
3. Шинкарёв Н.ф., Иванников В.В. Физико-химическая петрология изверженных пород. 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Недра, 1983. – 271с.
4. Хаин В.Е. Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики : учебник . Изд.: КДУ, 2010 – 560с.
5. Мохнач, М. Ф. Геология. Книга 2. Геодинамика : учебник / М. Ф. Мохнач, Т. И. Прокофьева ; под редакцией А. Н. Павлов. — СПб. : Российский государственный гидрометеорологический университет, 2011. — 280 с. <http://www.iprbookshop.ru/17904.html>
6. Хардигов, А. Э. Петрография и петрология магматических и метаморфических пород : учебник. А. Э. Хардигов, И. А. Холодная. — Ростов-на-Дону : Издательство Южного федерального университета, 2011. — 324 с. <http://www.iprbookshop.ru/47069.html>

Дополнительная:

7. Граменицкий Е.Н. Экспериментальная и техническая петрология. Изд.: МГГУ, 2000 – 416с.
8. Дубинин В. Геотектоника и геодинамика. В. Дубинин, Н. Черных;Оренбург : ОГУ, 2012. – 146 с. http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=259172&sr=1
9. Сазонов, А. М. Петрография магматических пород : учебное пособие. А. М. Сазонов. — Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2014. — 293 с. <http://www.iprbookshop.ru/84297.html>
- 10.Хэтч, Ф. Петрология магматических пород / Ф. Хэтч, А. Уэллс, М. Уэллс ; под ред. В.П. Петрова ; пер. с англ. П.П. Смолина. - Москва : Мир, 1975. - 511 с. : ил. ; <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=481322>
- 11.Жариков, В. А. Основы физической геохимии : учебник / В. А. Жариков. — М. : Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2005. — 656 с. <http://www.iprbookshop.ru/13063.html>
- 12.Кропоткин, П.Н. Значение тектонических процессов для образования кислых магм / П.Н. Кропоткин ; ред. Д.С. Белянкин, А.Н. Заварицкий. — Москва : Директ-Медиа, 2014. – 61 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240301>