

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.07 Изотопная геохимия и геохронология
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 петрология
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

Цель дисциплины: – ознакомить студентов с современными геохронологическими методами и с конкретными областями их применения, а также дать базисные знания по использованию изотопно-геохимических данных для исследования процессов становления и развития верхних оболочек Земли в геологическом времени.

Задачи дисциплины:

- дать представление о геохимии изотопов и об использовании изотопов при изучении геологических процессов;
- ознакомить с основными методами изотопного датирования пород и минералов.

В результате освоения программы дисциплины «**Изотопная геохимия и геохронология**» студенты направления 05.04.01 Геология должны

Знать:

- основные системы радиоактивного распада;
- закон радиоактивного распада и основные методы датирования, используемые в геохронологии;
- принципы определения мантийно-коровых источников на основе изменения изотопного состава радиогенных элементов.

Уметь:

- определять возраст пород и минералов U-Pb, Sm-Nd и Rb-Sr методом, используя программы PBDAT и ISOPLOT с построением диаграмм с конкордией;
- строить диаграммы распределения PЗЭ;
- рассчитывать эILON Nd и строить диаграммы для определения Sm-Nd модельного возраста.

Владеть: навыками работы с разными изотопными системами и разными минералами-геохронометрами.

2. Планируемые результаты обучения в рамках данной дисциплины

Процесс изучения дисциплины (модуля) «Изотопная геохимия и геохронология» 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, и компетенция реализуется полностью	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные понятия, цели, задачи изотопной геохимии и геохронологии. <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, и компетенция реализуется полностью	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные проблемы и задачи изотопной геохимии и геохронологии. <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 задач путем интеграции фундаментальных разделов геологических наук и	Компоненты компетенции соотносятся с содержанием дисциплины, и компетенция реализуется полностью	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - базовые понятия фундаментальных разделов изотопной геохимии и геохронологии. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - формировать диагностические решения профессиональных задач путем интеграции фундаментальных разделов изотопной геохимии и

специализированных знаний, полученных при освоении программы магистратуры.	геохронологии. Владеть: - методами интеграции фундаментальных разделов изотопной геохимии и геохронологии.
--	---

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

- ✓ Физика
- ✓ Химия
- ✓ Минералогия
- ✓ Петрография
- ✓ Кристаллография
- ✓ Рудные месторождения

Таблица 2 - Перечень практических работ

№ п/п	Наименование практических работ	Кол-во часов	Наименование темы по табл. 4 рабочей программы
2 семестр			
1.	Расчет возрастов по формуле радиоактивного распада. Расчет К-Аг и Аг-Аг возрастов.	2	1
2.	U-Pb метод, определение содержания урана и свинца в минералах по программе PBDAT	4	2
3.	Построение РЗЭ и мультиэлементных спайдер-диаграмм для пород и минералов	2	3
4.	Основы работы на масс-спектрометре	2	4
5.	Rb-Sr метод. Построение изохрон по программе ISOPLOT, определение первичного отношения Sr.	2	5
6.	Sm-Nd метод. Построение изохрон по программе ISOPLOT. Расчет модельного Nd возраста, построение диаграмм в координатах эpsilon ниодима-возраст.	4	6
7.	Lu-Hf метод. Расчет модельного Hf возраста в породе и цирконах, построение диаграмм в координатах эpsilon Hf - возраст.	2	7
Всего часов		18,0	

Рекомендации к выполнению практических работ

Практическое задание № 1.

Тема: «Расчет возрастов по формуле радиоактивного распада. Расчет К-Аг и Аг-Аг возрастов».

Основное уравнение, описывающее все виды радиоактивного распада

$$N=N_0e^{-\lambda t},$$

где N – число радиоактивных родительских атомов, которое осталось к моменту времени t от N_0 - первоначального числа атомов, которое было вначале при $t = 0$, λ – константа распада, e – основание натурального логарифма ($\approx 2,718$)

$$D^*=N_0-N \Rightarrow D^*=N_0-N_0e^{-\lambda t} \Rightarrow D^*=N_0(1-e^{-\lambda t}),$$

где D^* - количество радиогенного (дочернего) изотопа.

Обычно удобнее сравнивать D^* с количеством оставшихся родительских изотопов, то есть

$$D^*=N(e^{\lambda t}-1),$$

В общем случае число атомов дочернего продукта D , присутствующих в системе определяется как $D = D_0+D^*$, где D_0 – первоначальное число атомов дочернего нуклида, уже имевшееся в системе при $t=0$, D^* - число радиогенных атомов (образовавшихся в системе за счет распада родительского элемента), то есть

$$D=D_0+N(e^{\lambda t}-1)$$

это основное уравнение, используемое для определения возраста пород и минералов.

При распаде ^{40}K образуются:

- ^{40}Ca (β - распад) 88,8% атомов К
- ^{40}Ar ($\bar{\epsilon}$ захват) 11,2% атомов К

Процесс накопления радиогенных ^{40}Ar и ^{40}Ca в К-содержащих системах, описывается уравнением:

$$^{40}\text{Ar}^* + ^{40}\text{Ca}^* = ^{40}\text{K} (e^{\lambda t}-1), \text{ где } \lambda = \lambda_{\text{э.з.}} + \lambda_{\beta^-}$$

$$\lambda = 5.543 \cdot 10^{-10} \text{ лет}^{-1} \quad T_{1/2} = 1,250 \cdot 10^9 \text{ лет}$$

$$\lambda_{\text{э.з.}} (\text{электронный захват}) = 0,581 \cdot 10^{-10} \text{ лет}^{-1}$$

Определение возраста К-Аг методом сводится к определению $^{40}\text{Ar}/^{40}\text{K}$ отношения в образце. Расчетная формула для вычисления К-Аг возраста следующая:

$$T = 1/\lambda \cdot \ln(\lambda/\lambda_{\text{э.з.}} \cdot {}^{40}\text{Ar}^*/{}^{40}\text{K} + 1) \quad (1)$$

Пример:

Содержание К в пегматите = 8,378%, ${}^{40}\text{Ar}^* = 0.3305$ ppm.

$${}^{40}\text{Ar}^*/{}^{40}\text{K} = (0.3305 \cdot 39.098304 \cdot A)/(8.378 \cdot 10^4 \cdot 0.0001167 \cdot 39.9623 \cdot A) = 0.03307,$$

где 39,098304 – атомная масса калия,

0,0001167 – содержание ${}^{40}\text{K}$, выраженного в десятичных долях,

39,9623 – атомная масса ${}^{40}\text{Ar}$

A – число Авогадро,

10^4 – множитель для перевода процентов содержания К в ppm

Согласно уравнению (1)

$$T = 1/(5.543 \cdot 10^{-10}) \ln(0.03307 \cdot 5.543/0.581 + 1) = 494.7 \cdot 10^6 \text{ лет}$$

Студентам предлагаются задачи для расчета К-Аг возраста пород и минералов с разным содержанием калия и аргона.

Практическое задание № 2.

Тема: «U-Pb метод, определение содержания урана и свинца в минералах по программе PBDAT».

Расчет выполняется на компьютере в программе PBDAT. Берутся измеренные отношения с масс-спектрометра (изотопный состав свинца в образце и изотопный состав свинца в трассере), вводится вес образца и вес трассера. Холостое внутри лабораторное загрязнение по свинцу = 0,5 нг, по урану = 0,05 нг. Используется 235-208 трассер.

Практическое задание № 3.

Тема: «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.,

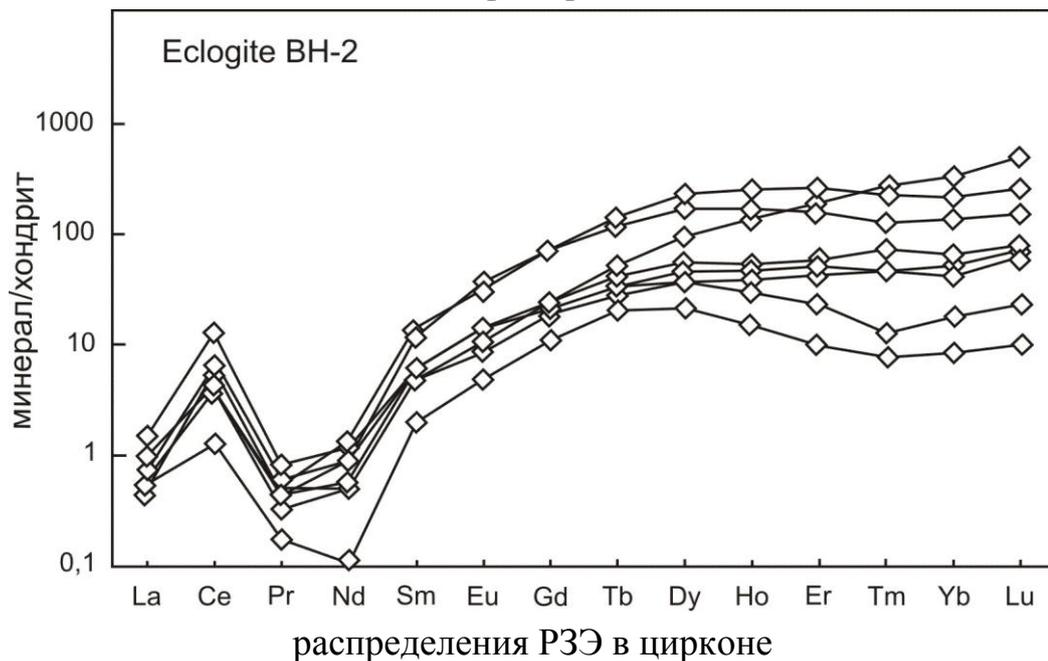
2003).

			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 Excel, выбирается опция «нестандартные диаграммы», масштаб логарифмический. Подписи по оси x – элементы, по оси y – «минерал/хондрит», либо «порода/PM»

Пример:



Практическое задание № 4.

Тема: «Основы работы на масс-спектрометре».

Проводится ознакомительное практическое занятие по работе на масс-спектрометре Finnigan-MAT 262(RPQ), расположенном в лаборатории

Геохронологии ГИ КНЦ РАН. Рассматриваются основные составные части масс-спектрометра: источник ионов, масс-анализатор, приемник ионов. Рассматриваются режимы измерения в одноленточном и двухленточном режиме в зависимости от применяемого изотопного метода.

Практическое задание № 5.

Тема: «Rb-Sr метод. Построение изохрон по программе ISOPLOT, определение первичного отношения Sr».

Расчет выполняется на компьютере в программе ISOPLOT. В качестве учебного пособия используется описание программы (Ludwig, 1999).

Вводится изотопный состав стронция $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, измеренный на масс-спектрометре и отношение $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ для нескольких когенетических пород или минералов из одной породы, относящихся к одному парагенезису. Ошибки по осям для изотопных отношений принимаются 0,04 и 1,5%, соответственно.

Первичное отношение стронция определяется отрезком, отсекаемым на оси у построенной изохроной. В зависимости от значения первичного отношения стронция делается вывод о мантийной или коровой природе исследуемой породы. Основа для этого разделения является фракционирование Rb и Sr в геологических процессах (см. лекцию № 5).

Пример:

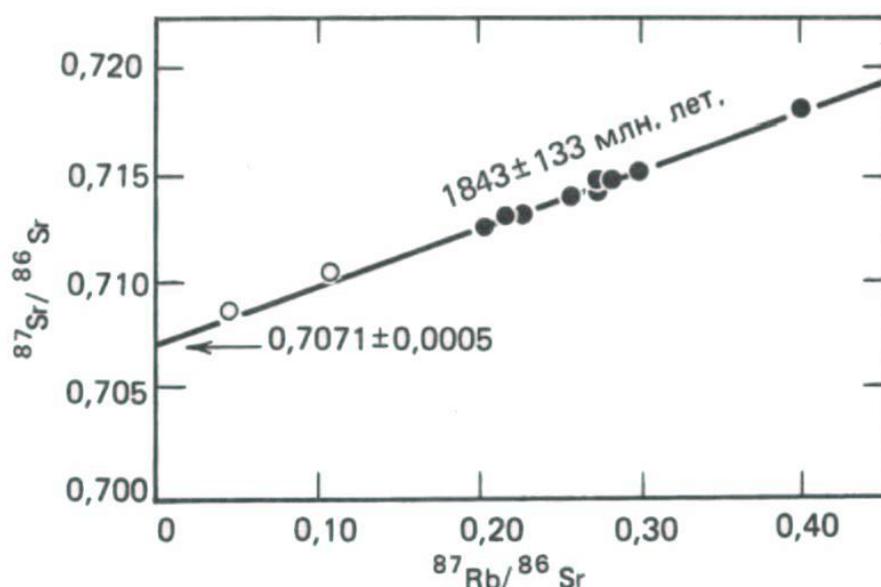


Рис. 8.2. Rb-Sr-изохрона, образованная серий образцов породы в целом и двумя плагио-

Практическое задание № 6.

Тема: «Sm-Nd метод. Построение изохрон по программе ISOPLOT. Расчет модельного Nd возраста, построение диаграмм в координатах эpsilon ниодима-возраст».

Расчет выполняется на компьютере в программе ISOPLOT. В качестве учебного пособия используется описание программы (Ludwig, 1999). Расчет изохрон аналогичен Rb-Sr методу.

Вводится изотопный состав ниодима $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, измеренный на масс-спектрометре и отношение $^{146}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ для серии когенетичных пород или минералов из одной породы, относящихся к одному парагенезису. Ошибки по осям для изотопных отношений принимаются 0,003 для изотопного состава ниодима и 0,3% для отношения Sm/Nd.

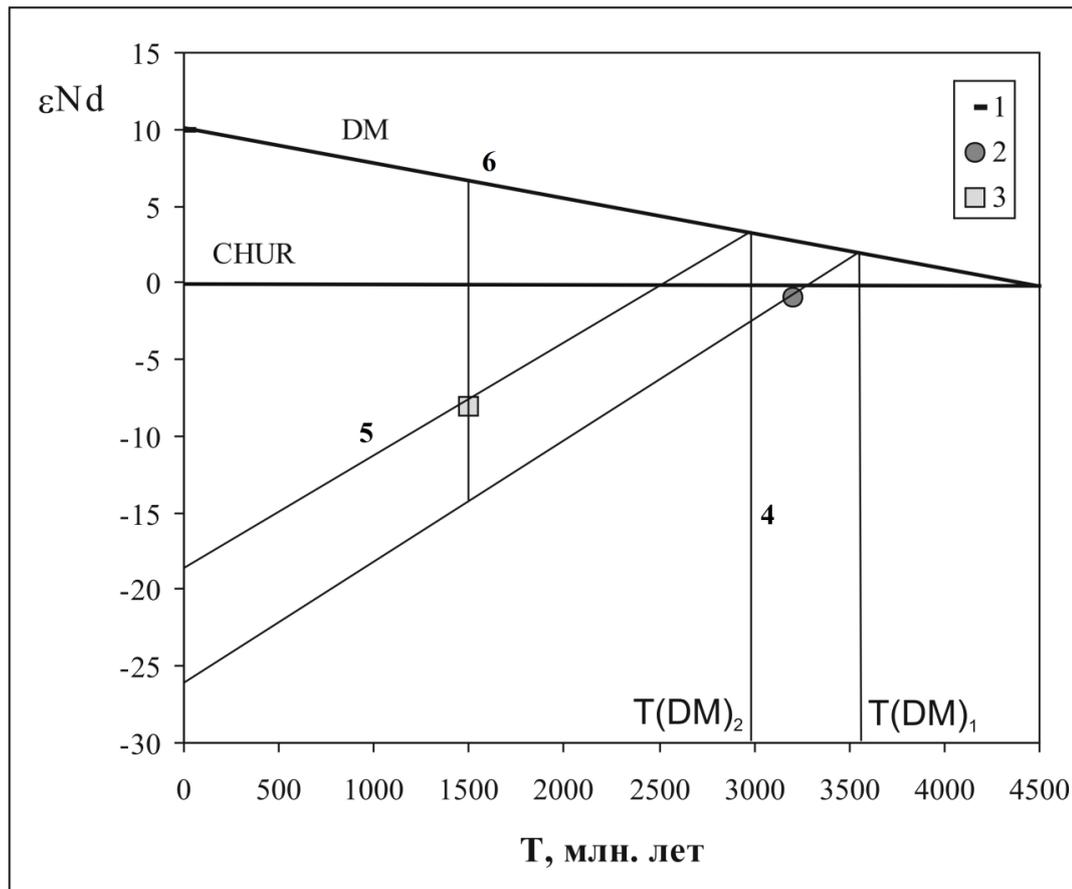
Первичное отношение ниодима определяется отрезком, отсекаемым на оси у построенной изохроной. В зависимости от значения первичного отношения ниодима делается вывод о мантийной или коровой природе исследуемой породы. Обратить внимание, что геохимические свойства Sm и Nd отличаются от пары Rb-Sr.

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 «эpsilon ниодима – 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 «эpsilon ниодима» для возраста кристаллизации и на время отделения от деплетированной мантии. Для построения линии DM используются две точки с координатами возраст-эpsilon ниодима 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 – эpsilon ниодима». Затем наносим для каждого образца «точку модельного возраста» на линии деплетированной мантии. Соединяем и получаем линию эволюции изотопного состава ниодима

в образце после отделения расплава от деплетированной мантии.

Пример:



Практическое задание № 7.

Тема: «Lu-Hf метод. Расчет модельного Hf возраста в породе и цирконах, построение диаграмм в координатах эpsilon Hf - возраст».

Геохимические свойства Lu и Hf подобны свойствам Sm и Nd. Hf концентрируется в расплаве относительно Lu. Континентальная кора (и кислые породы) обогащены Hf и имеют более низкие Lu/Hf отношения (высокие $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$) по сравнению с DM (и основными породами).

Построение изохрон, расчет модельного возраста, построение диаграммы эpsilon гафния – возраст аналогичны построениям для самарий-неодимовой системы. Основная разница, что эволюция изотопного состава гафния может рассматриваться не только для пород, но и для породообразующих и акцессорных минералов (гранат, монацит, циркон), что позволяет определять их генезис.

Пример:

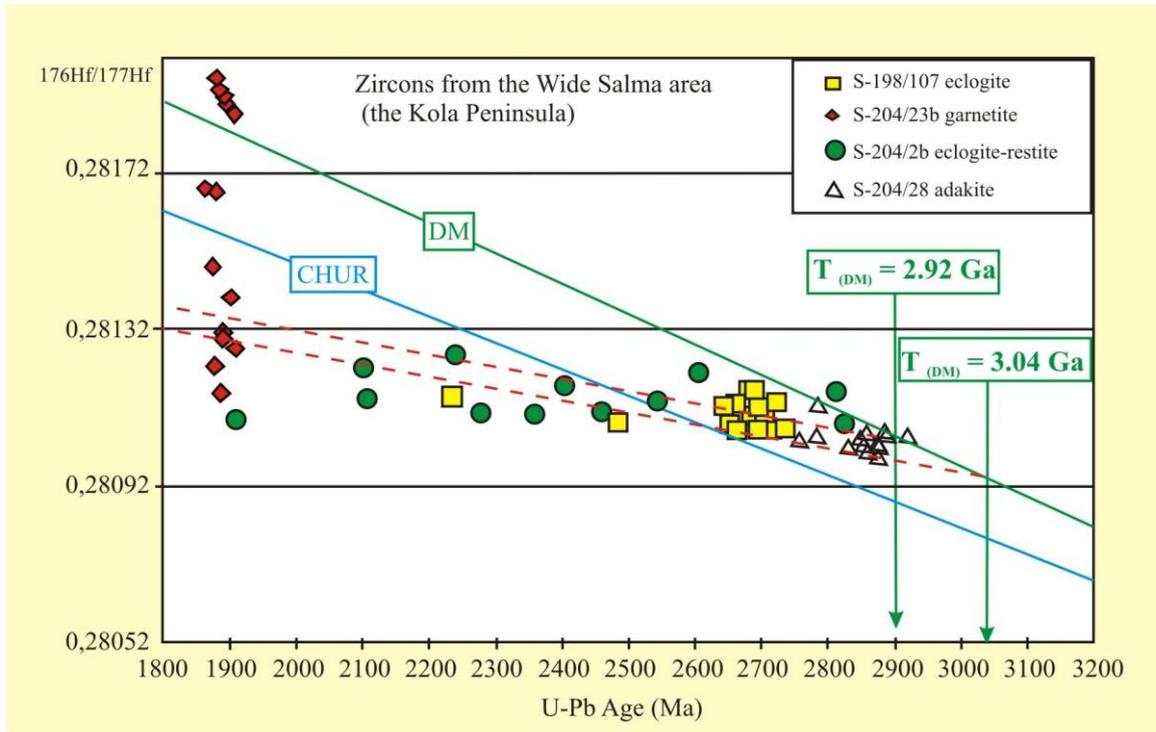


График соотношения U-Pb возраста и $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ отношений для цирконов из эклогитов района Широкая Салма

Рекомендуемая литература

Основная:

1. Прикладная геохимия [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Т.П. Стримжа, С.И. Леонтьев - Красноярск : СФУ, 2015. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785763833447.html>.

2. Титаева Н.А., Ядерная геохимия [Электронный ресурс]: учебник / Титаева Н.А. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Издательство Московского государственного университета, 2000. - 336 с. - ISBN 5-211-02564-4 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5211025644.html>

Дополнительная:

3. Время как объективно-субъективный феномен [Электронный ресурс] / И.А. Хасанов - М : Прогресс-Традиция, 2017. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785898265284.html>

4. 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>

5. Н.Е.Козлов. А.А. Предовский Введение в геохимию: учебное пособие. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2006. – 140с.

6. Общая геохимия / авт.-сост. З.В. Стерленко, А.А. Рожнова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». – Ставрополь : СКФУ, 2016. – 148 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459132> – Библиогр.: с. 118. – Текст : электронный.