

Таким образом, раннепалеопротерозойский Имандровский лополит может являться одним из перспективных рудоносных объектов Кольского региона.

Литература

1. Горбунов Г.И., Астафьев Ю.А., Гончаров Ю.В. и др. Медно-никелевые месторождения Печенги. М.: ГЕОС, 1999. 236 с.
2. Додин Д.А., Ланда Э.А., Лазаренков В.Г. Платиносодержащие месторождения мира. Т.П - Платиносодержащие хромитовые и титаномагнетитовые месторождения. М.: 000 "Геоинформмарк", 2003. 409 с.
3. Докучаева В.С., Жангуров А.А., Федотов Ж.А. и др. Геология и рудоносность Имандровского лополита // Отеч. геол., 1992, № 10, С. 60-67.
4. Дюжиков О.А. Рудоносные магматические формации PGE-Cu-Ni месторождений// Изв. секции наук о Земле РАЕН, вып. 15, 2007. С. 81-90.
5. Дюжиков О.А., Туровцев Д.М., Кравченко Г.Г. и др. Особенности строения и рудоносность Имандровского лополита Кольской платиноносной провинции// Тез. докл. рег. симпозиума. Петрозаводск, 1995. С. 41-43.
6. Казанский В.И., Генкин А.Д., Глаголев А.А. Печенгский рудный район // В кн. "Глубинное строение и условия формирования эндогенных рудных районов, полей и месторождений". М.: Наука, 1983. С. 208-226.
7. Кравченко Г.Г. Роль тектоники при кристаллизации хромитовых руд Кемпирсайского плутона. М.: Наука, 1969. 212 с.
8. Смолькин В.Ф., Митрофанов Ф.П., Аведисян А.А. и др. Магматизм, седиментогенез и геодинамика Печенгской палеорифтовой структуры. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1995. 256 с.
9. Шарков Е.В. Формирование расслоенных интрузивов и связанного с ними оруденения. М.: Научный мир, 2006. 364 с.

Масс-спектрометрическое определение РЗЭ в сульфидах и Sm-Nd датирование сульфидсодержащих пород базитовых интрузивов

Екимова Н.А.¹, Серов П.А.¹, Баянова Т.Б.¹, Елизарова И.Р.²

¹ГИ КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: nordgirl@list.ru

²ИХТРЭМС КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: elizarova@chemy.kolasc.net.ru

Изотопно-геохимические исследования пород и минералов рудоносных объектов, наряду с другими методами изучения, дают важную информацию в понимании процессов породо- и рудообразования и металлогении различных геологических объектов. Очень популярным изотопно-геохронологическим методом определения возраста и природы пород мафит-ультрамафитовых интрузий является Sm-Nd метод. Он позволяет использовать в качестве минералов-геохронометров главные породообразующие минералы – плагиоклаз, орто- и клинопироксен, оливин. В практику Sm-Nd исследований постоянно вводятся новые минералы-геохронометры. Очень желательно для целей геохронологии рудных процессов использовать также сульфиды, т.к. именно они должны прямо показывать возраст рудообразования.

Изотопные Sm-Nd исследования по сульфидам до сих пор не проводятся, т.к. содержания РЗЭ в сульфидных минералах считаются весьма низкими (ниже 0.1 ppm), что объясняют литофильным характером группы РЗЭ, вследствие чего они практически не накапливаются в халькофильных рудах.

Между тем, исследования РЗЭ А.В. Дубинина и его коллег [1, 4, 5], проведенные в сульфидах из гидротермальных источников срединно-океанических хребтов, показали о возможности нахождения РЗЭ в кристаллической решетке сульфидов в измеряемых количествах.

Мы попробовали продолжить эти исследования на сульфидных объектах Балтийского щита, но сначала проверили наши возможности на стандартных образцах. Для отработки методики определения РЗЭ в образцах геологических проб без предварительного разделения и концентрирования были воспроизведены аттестованные значения их концентраций в ГСО 2463 (апатит) и в международных стандартных образцах Национального центра петрографических и геохимических исследо-

ваний в г. Нанси, Франция с использованием квадрупольного масс-спектрометра ELAN 9000 DRC-e (Perkin Elmer, США) в ИХТРЭМС КНЦ РАН, г. Апатиты. Условия вскрытия проб включали в себя следующее: навеска геологической пробы ≈ 100 мг, вскрытие в смеси дистиллированных кислот 5 мл HNO_3 + 5 мл HF + 5 мл HCl в одноразовых пробирках для масс-спектрометрии «Digi Tubes» (США) или «Handy-Pak» (Канада) на водяной бане, с одновременным добавлением кислот в виде смеси или в стеклоглеродных тиглях (СУ-20000), с нагревом на электроплите при поочередном добавлении кислот, с чередованием нагрева-охлаждения. Температура растворов при вскрытии 50 – 60 °С. В завершении вскрытия для комплексования добавляли 0.1 мл H_2O_2 . Растворенную пробу доводили до 50 мл, добавляя 2% HNO_3 . Для анализа использовали деионизированную воду (18.0 – 18.4 М Ом · см). Подобранные условия вскрытия и анализа проб дали возможность провести определение макро- и микрокомпонентов, РЗЭ и Y в пробах геостандартов, результаты которых хорошо воспроизводят аттестованные значения [2]. Таким же образом был проведен анализ сульфида из габброноритов расслоенной интрузии Пеникат, Финляндия (рис.1, табл.1).

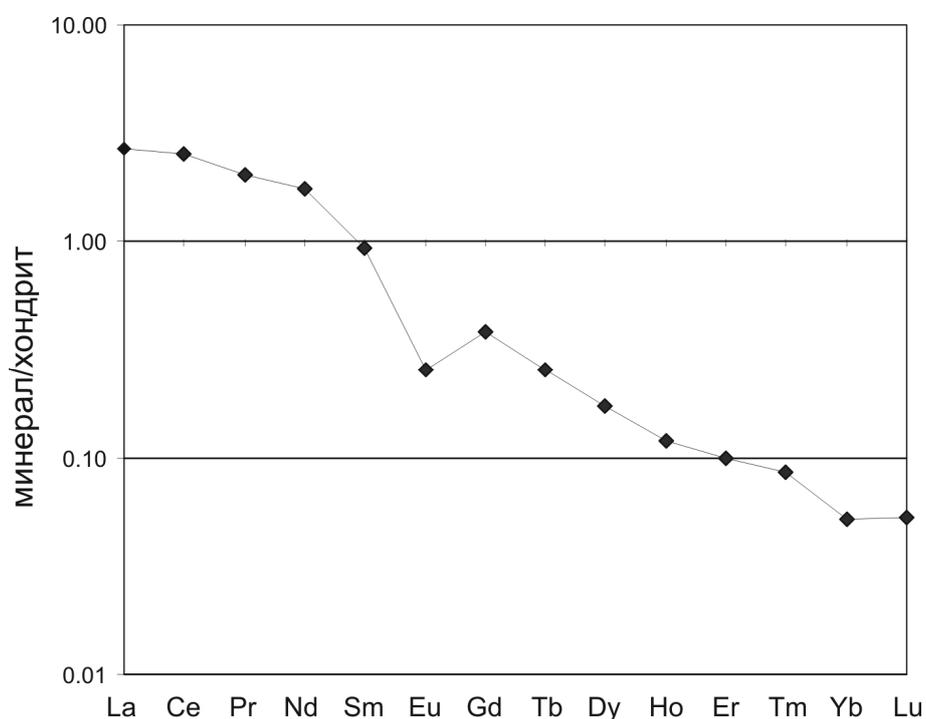


Рис. 1. Распределение РЗЭ в сульфиде из габброноритов расслоенной интрузии Пеникат, Финляндия

Таблица 1. Результаты определения содержания РЗЭ и Y в сульфиде из габброноритов расслоенной интрузии Пеникат, Финляндия (данные ИХТРЭМС КНЦ РАН, г. Апатиты)

элемент	Концентрация, ppm	элемент	Концентрация, ppm	элемент	Концентрация, ppm
La	0.63± 0.03	Eu	0.015± 0.0005	Er	0.017± 0.0005
Ce	1.56± 0.007	Gd	0.079± 0.0012	Tm	0.0022± 0.0003
Pr	0.19± 0.004	Tb	0.01± 0.001	Yb	0.0089± 0.0005
Nd	0.82± 0.03	Dy	0.044± 0.002	Lu	0.0013± 0.0001
Sm	0.144± 0.007	Ho	0.0068± 0.0008	Y	0.15± 0.006

Исследования показывают вполне ощутимые и измеряемые концентрации легких РЗЭ, включая Sm и Nd, достаточные для Sm-Nd метода (табл. 1).

Измерения сульфидных минералов проведены масс-спектрометрическим методом с индуктивно связанной плазмой и М.Н. Римской-Корсаковой с соавторами [4], но в этом случае авторы использовали предварительное разделение матрицы вскрытых жидких проб и РЗЭ и концентрирование последних. Обе процедуры проводили одновременно с использованием хроматографического

метода в колонках с катионообменником Dowex 50WX8 («Sigma»). Уровень определенных значе- ний концентраций РЗЭ – ppm.

Пробоподготовка минералов для Sm-Nd исследований проводилась по следующей методике: химическое разложение минералов было выполнено из навески (~50 мг), к которой добавляли соот- ветствующее количество раствора смешанного трассера $^{149}\text{Sm}/^{150}\text{Nd}$. Затем навеску обрабатывали концентрированной плавиковой кислотой (5-10 мл) и выдерживали 1.5-2 часа при комнатной тем- пературе. Далее навеску минерала помещали в тefлоновый вкладыш автоклава и проводили разло- жение в сушильном шкафу при температуре 170°C в течении нескольких часов. После разложения выпаривали досуха HF и образовавшиеся фториды переводили в хлориды путем упаривания образ- ца 2-3 раза в 4.5-6 N HCl. Для разложения сульфидов навеску образца (около 50 мг) с трассерным раствором обрабатывали царской водкой и выпаривали досуха, после чего также переводили в хло- риды путем упаривания образца в 4.5-6 N HCl. Сухой остаток растворяли в ~1 мл 2.3 N HCl и загру- жали на первую хроматографическую колонку с катионитом Dowex 50W-8 (200-400 меш). Эта ко- лонка используется для выделения суммы РЗЭ с применением ступенчатого элюирования 2.3 и 4.5 N HCl. Выделенную фракцию РЗЭ выпаривали досуха, растворяли в 0.1 N HCl и загружали на вторую колонку с ионитом HDEHP на твердом носителе KEL-F. Отобранные фракции Sm и Nd вы- паривали, после чего они уже были готовы для последующего масс-спектрометрического анализа.

Измерения изотопного состава неодима и концентраций Sm и Nd проводились на семиканаль- ном твердофазном масс-спектрометре Finnigan - MAT 262 (RPQ) в статическом двухленточном ре- жиме. Все измеренные изотопные отношения Nd были нормализованы по отношению $^{148}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.241570$, а затем пересчитаны на отношение $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ в стандарте JNd1=0.512068.

Объектами исследования сульфидов для целей геологии стали породы двух расслоенных интрузи- вов – палеопротерозойского Федорово-Панского массива и шведской расслоенной интрузии Ноттреск.

Расслоенный Федорово-Панский интрузив располагается в центральной части Кольского полу- острова и простирается в северо-западном направлении на расстояние около 70 км при мощности 3-4 км. Массив состоит из четырех блоков – Федоровотундровского, Ластьяврского, Западно-Панского и Восточно-Панского, каждый из которых содержит сульфидные руды в промышленном количестве.

Для изотопных Sm-Nd исследований из нижней части зоны такситовых габброноритов Федо- ровотундровского блока интрузива была отобрана геохронологическая проба 48-2G оруденелого такситового меланократового габбронорита (коллекция Н.Н. Грошева). Из этой пробы были выделе- ны и исследованы монофракции плагиоклаза, орто- и клинопироксена и сульфидов (смесь пирита и халькопирита). Масса навесок каждого минерала составляла около 50 мг.

Таблица 2. Изотопные Sm-Nd данные для такситовых габброноритов Федорово-Панского массива и оливи- новых габбро массива Ноттреск.

	Содержание, ppm		Изотопные отношения		$\epsilon_{\text{Nd}}(\text{T})$
	Sm	Nd	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	
рудные такситовые габбронориты Федоровотундровского месторождения					
WR	0.663	2.701	0.141663	0.511775±16	+0.8±0.4
Sulf	0.400	0.267	0.089694	0.510942±37	
Pl	0.179	1.279	0.084560	0.510845±28	
Cpx	2.428	8.485	0.172983	0.512284±14	
Opx	0.230	0.697	0.199591	0.512731±19	
рудосодержащие оливиновые габбро массива Ноттреск					
WR	1.904	8.852	0.130005	0.511803±23	-1.3±0.3
Pl	0.302	3.037	0.060074	0.511001±8	
Opx	0.636	2.340	0.164263	0.512203±21	
Ol	0.090	0.394	0.138856	0.511911±24	
Sulf	1.103	6.178	0.107896	0.511532±28	
Opx+Cpx	2.213	8.547	0.156522	0.512079±10	

Минеральная Sm-Nd изохрона (рис. 2, табл. 2) показала возраст 2475±37 млн. лет, $\epsilon_{\text{Nd}}(\text{T}) = +0.8±0.4$. Этот возраст интерпретируется как время кристаллизации рудоносных габброноритов Фе- доровотундровского блока массива. Возраст согласуется с прежними данными [3], но здесь самое главное то, что точка сульфида попадает на общую изохрону.

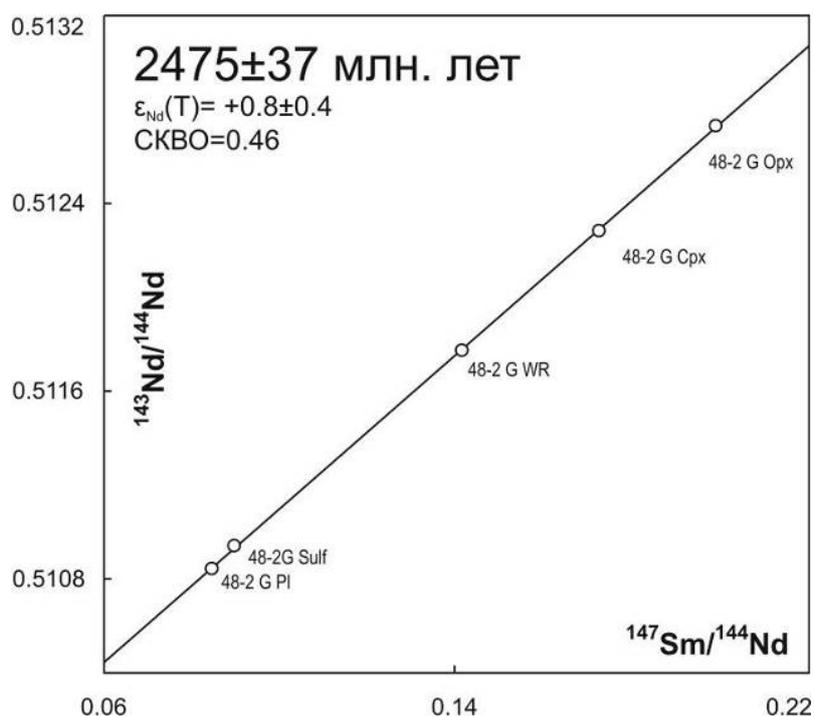


Рис. 2. Минеральная Sm-Nd изохрона для рудных такситовых габброноритов из Федоровотундровского месторождения

Расслоенная интрузия Ноттреск располагается в Северо-восточной части Швеции в окрестностях города Лулео. В составе интрузии выделяются несколько зон: краевая норитовая зона с никелевой минерализацией, зона магнетитовых габбро и верхняя зона оливиновых габбро, содержащая сульфидное оруденение с платиновой минерализацией.

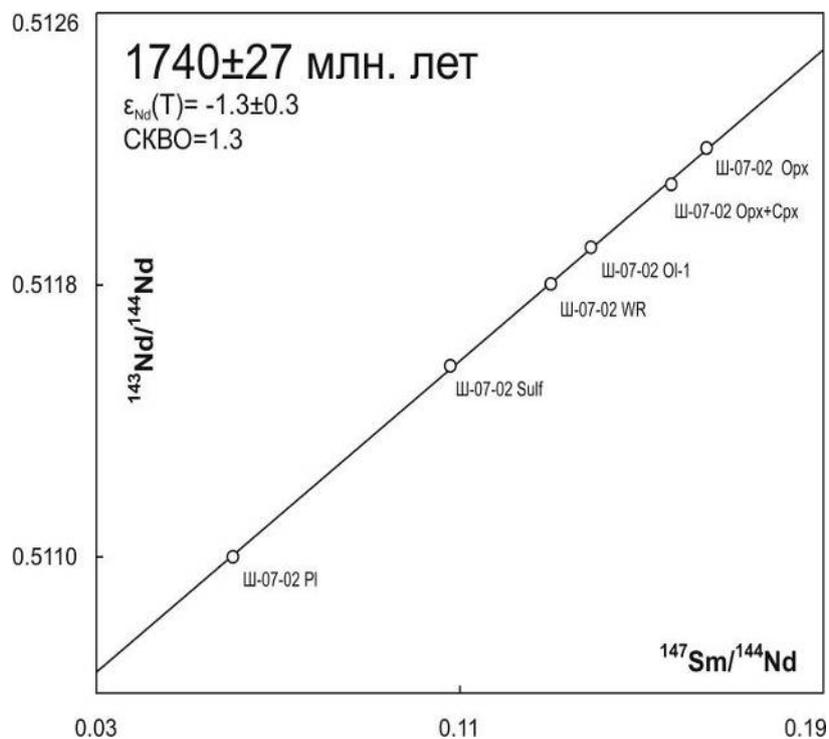


Рис. 3. Минеральная Sm-Nd изохрона для рудосодержащего оливинового габбро массива Ноттреск (Швеция)

Из центральной расслоенной из расслоенной зоны массива на изотопное Sm-Nd датирование отобрана проба Ш-07-02 оливиновых габбро, содержащих сульфидную и платиновую минерализацию.

Для изотопных исследований из этой пробы были выделены плагиоклаз, орто- и клинопироксены, оливин и сульфиды. Вместе с породой в целом выделенные минералы на Sm-Nd диаграмме дают изохронную зависимость с возрастом, равным 1740 ± 27 млн. лет, $\varepsilon_{Nd}(T) = -1.3 \pm 0.3$ (рис. 3, табл. 2).

Выводы:

1. Впервые сделан анализ сульфида из габброноритов расслоенной интрузии Пеникат (Финляндия) на содержание РЗЭ без предварительного разделения и концентрирования, по результатам которого получено распределение РЗЭ.

2. Были продатированы сульфидные минералы пород Федорово-Панского расслоенного интрузива (Россия) и массива Ноттреск (Швеция). Полученный Sm-Nd возраст составил 2475 ± 37 млн. лет и 1745 ± 76 млн. лет соответственно. Изотопный Sm-Nd возраст сульфидов с породообразующими минералами показывает время процессов рудообразования.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 07-05-00956 и 08-05-00324, НШ 1413.2006.5, КГ № 02.515.11.5089 и Российского-Финского проекта Interreg Tacis K-0193.

Литература

1. Дубинин А.В. Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой: определение редкоземельных элементов в стандартных образцах донных отложений океанского генезиса // Геохимия. 1993б, № 11, с. 1605-1619.
2. Елизарова И.Р., Баянова Т.Б., Митрофанов Ф.П., Калинин В.Т. Методические аспекты масс-спектрометрического (ELAN 9000) определения редкоземельных элементов в стандартных геологических образцах // мат. III всероссийской конф. с междунар. участием "Масс-спектрометрия и ее прикладные проблемы", 18-22 мая 2009 г., Москва, НУ-8, с. 110.
3. Серов П.А., Ниткина Е.А., Баянова Т.Б., Митрофанов Ф.П. Сопоставление данных по датированию изотопными U-Pb и Sm-Nd методами пород ранней безрудной фазы и рудовмещающих пород платинометалльного Фёдорово-Панского расслоенного массива // Доклады АН, 2007, т. 415, №, С. 1-3.
4. Римская-Косакова М.Н., Дубинин А.В., Иванов В.М. Определение редкоземельных элементов в сульфидных минералах методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой после ионообменного концентрирования. // ЖАХ 2003, том 58, № 9, с. 975-979.
5. Римская-Косакова М.Н., Дубинин А.В. Редкоземельные элементы в сульфидах подводных гидротермальных источников атлантического океана // Доклады АН 2003, том 389, № 5, с. 672-676.

Металлогеническое районирование докембрия Ростовской области

Зеленщиков Г. В., Зайцев А. В.

ОАО «Южгеология», г. Ростов-на-Дону, e-mail: southgeology@mail.ru

Докембрийские образования залегают на глубине 200 м и глубже на севере области Калач-Эртыльском мегаблоке Воронежского кристаллического массива и от 100 м и глубже в Ростовском блоке Приазовского кристаллического массива. Металлогения докембрия изучена в регионе до глубины 500 м.

В пределах Калач-Эртыльского мегаблока на площади Воронцовского эпикратонного прогиба выделяется Восточно-Воронежская металлогеническая провинция. Здесь развиты платиноидно-медно-никелевые проявления мамонского типа, связанные с дунит-перидотит-габбро-норитовой формацией. Северная часть Ростовской области входит в Мамоно-Жиряевскую металлогеническую зону [1], где выделяется несколько подтипов интрузивных тел, один из которых (песковатский) находится в пределах Ростовской области. Если по характеру дифференциации и составу породных групп он отличается от мамонского подтипа высокой степенью дифференциации, то по металлогеническому характеру эти группы интрузивов практически аналогичны. Это выражается как в металло-