

УДК 552.32.6 ("Геохимия")

Возможности Sm-Nd датирования рудных процессов с использованием сульфидов

П.А. Серов, Н.А. Екимова

Геологический институт КНЦ РАН

Аннотация. В статье приводятся новые Sm-Nd изотопно-геохронологические и геохимические данные для рудоносных пород палеопротерозойского расслоенного Федорово-Панского интрузива (Кольский полуостров) и расслоенной интрузии Ноттреск (Швеция). Впервые в практику Sm-Nd исследований введены новые минералы-геохронометры – сульфиды, позволяющие напрямую датировать рудообразующий процесс. Полученные возраста – 2475 ± 37 млн лет для габброноритов Федорово-Панского интрузива и 1740 ± 27 млн лет для габбро массива Ноттреск – интерпретируются как время рудообразования в обоих массивах. Таким образом, показано, что сульфиды могут использоваться в качестве минералов-геохронометров при Sm-Nd изотопно-геохронологических исследованиях.

Abstract. The paper presents new Sm-Nd isotope-geochronological and geochemical data for the ore-bearing rock of the Fedorovo-Pansky Palaeoproterozoic layered complex (Kola Peninsula) and Nottrask layered intrusion (Sweden). For the first time, Sm-Nd dating procedure has applied sulphides as new minerals-geochronometers that allow direct dating of ore-forming events. The resultant ages of 2475 ± 37 Ma for the gabbronorite of the Fedorovo-Pansky complex and of 1740 ± 27 Ma for the gabbro of the Nottrask intrusion have been interpreted as the time of ore-forming processes in the two intrusions. Thus, it has been demonstrated that sulphides may be used as minerals-geochronometers for Sm-Nd isotope-geochronological investigations.

Ключевые слова: сульфиды, Sm-Nd метод, эпсилон, P3Э, минералы-геохронометры

Key words: sulphides, Sm-Nd method, epsilon, REE, minerals-geochronometers

1. Введение

Определение длительности и последовательности геологических процессов при формировании рудоносных интрузивных массивов и комплексов имеет большое значение для понимания рудообразующих процессов. Изотопно-геохронологические и геохимические исследования пород и минералов рудоносных объектов, наряду с другими методами изучения, несут важную информацию для понимания процессов породо- и рудообразования и металлогении в пределах как отдельных геологических тел, так и целых областей их развития. Одним из наиболее популярных изотопно-геохронологических методов определения возраста пород мафит-ультрамафитовых интрузий является Sm-Nd метод, поскольку он позволяет использовать в качестве минералов-геохронометров главные породообразующие минералы – плагиоклаз, орто- и клинопироксен, оливин. Однако, в практику Sm-Nd исследований постоянно вводятся новые минералы-геохронометры, что является очень важным и новым в настоящее время. Такими минералами-геохронометрами могут служить сульфиды, так как именно с сульфидами тесно связана промышленная Pt-Pd минерализация. Изотопные Sm-Nd исследования по сульфидам практически не проводятся, поскольку это сопряжено с большими трудностями изучения изотопов самария и неодима, содержания которых в сульфидах очень низкие.

В доступной авторам мировой и отечественной литературе исследований по данному направлению практически не имеется. Определение возраста по сульфидам является прямым методом, поскольку в этом случае датируется непосредственно время рудообразования. Это позволит в дальнейшем использовать Sm-Nd систематику как индикатор рудоносности или нерудоносности для многих неизученных базитовых массивов, имеющих в Мурманской области.

Вхождение P3Э в сульфидные минералы может контролироваться процессами сорбции и соосаждения. В работе (Morgan, Wandless, 1980) после изучения содержаний P3Э в барите, ангидрите, сидерите и галените гидротермального генезиса был предложен кристаллохимический контроль вхождения P3Э в решетку минералов. В этом случае вхождение P3Э в решетку будет контролироваться близостью ионного радиуса лантаноида к главным катионам в решетке минералов. С уменьшением радиуса от лантана к лютецию увеличивается относительное накопление P3Э в сульфидах. Ионный радиус лантаноидов в октаэдрической координации уменьшается от лантана $La^{3+} = 1.160 \text{ \AA}$ до лютеция $Lu^{3+} = 0.977 \text{ \AA}$, приближаясь к радиусам меди $Cu^{2+(VI)} = 0.73 \text{ \AA}$, цинка $Zn^{2+(VI)} = 0.74 \text{ \AA}$, железа $Fe^{2+(VI)} = 0.78 \text{ \AA}$ (Shannon, 1976). Низкий коэффициент перераспределения между сульфидом и флюидом для

европия (Eu^{2+} (VIII) = 1.25 Å) можно объяснить большими различиями в размерах катионов кристаллической решетки (Cu, Fe, Zn) и европия (Римская-Корсакова, Дубинин, 2003).

2. Методы

Пробоподготовка минералов для Sm-Nd исследований проводилась по следующей методике. Минералы, выделенные в сепарационной лаборатории КНЦ РАН, подвергались тщательной процедуре доочистки под бинокулярным микроскопом с целью выявления и отбраковки отдельных зерен, загрязненных примесями.

Химическое разложение минералов было выполнено из навески (~50 мг), к которой добавляли соответствующее 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 температуре. Далее навеску минерала помещали в тефлоновый вкладыш автоклава и проводили разложение в сушильном шкафу при температуре 170°C в течении нескольких часов. После разложения выпаривали досуха HF и образовавшиеся фториды переводили в хлориды путем упаривания образца 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 хлориды путем упаривания образца в 4.5-6 N HCl.

Сухой остаток растворяли в ~1мл 2.3 N HCl и загружали на первую хроматографическую колонку с катионитом Dowex 50W-8 (200-400 меш). Эта колонка 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 выпаривали, после чего они уже были готовы для последующего масс-спектрометрического анализа.

Измерения изотопного состава неодама и концентраций Sm и Nd проводились на семиканальном твердофазном масс-спектрометре Finnigan – MAT 262 (RPQ) в статическом двухленточном режиме на коллекторах с использованием ренийевых и танталовых лент. Погрешность изотопного состава Nd стандарта La Jolla = 0.511833 ± 6 не превышает 0.0024 % (2σ). Такая же погрешность была получена при измерении 15 параллельных анализов японского стандарта $J\text{Nd}_1 = 0.512068 \pm 12$. Ошибка в $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ отношениях составляет 0.2% (2σ) – среднее значение из 7 измерений в стандарте BCR. Холостое внутрилабораторное загрязнение по Nd равно 0.3 нг и по Sm равно 0.06 нг. 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 $J\text{Nd}_1 = 0.512068$. В расчете возрастов использовались принятые величины констант распада по (Steiger, Jäger, 1977). Расчеты параметров изохрон проводились с использованием программ К. Людвиг (Ludwig, 1991; 1999).

3. Результаты

Объектами данного исследования стали породы двух расслоенных интрузивов – палеопротерозойского Федорово-Панского массива и шведской расслоенной интрузии Ноттреск.

Расслоенный Федорово-Панский интрузив относится к наиболее перспективным объектам России на платинометалльные руды малосульфидного типа (Митрофанов и др., 1994; 1999). Он располагается в центральной части Кольского полуострова и простирается в северо-западном направлении на расстояние около 70 км при мощности 3-4 км. Породы массива имеют юго-западное падение под углами 30-35°. Массив состоит из четырех блоков – Федоровогундровского, Ластьяврского, Западно-Панского и Восточно-Панского, которые смещены относительно друг друга в горизонтальном и вертикальном направлениях. Это обуславливает в их пределах выход на дневную поверхность различных участков разреза (Пожиленко и др., 2002).

В целом, Федорово-Панский массив имеет относительно простое геологическое строение. Он сложен главным образом габброноритами, отличающимися друг от друга количественным соотношением породообразующих минералов и структурно-текстурными особенностями, а также норитами, габбро и анортозитами. В нижней части массива в его строении снизу вверх выделяются следующие зоны (Докучаева, 1994): краевая зона (50-60 м) такситовых габброноритов; норитовая зона (40-50 м), состоящая, в основном, из норитов с подчиненным количеством плагиопироксенитов; габброноритовая зона (около 4000 м) с породами различной зернистости и текстуры, а также варьирующими количественными соотношениями кумулусных минералов. В строении габброноритовой зоны выделяется три подзоны: нижняя, центральная и верхняя: 1) нижняя подзона (1000-1100 м) сложена мезократовыми трахитоидными габброноритами с первым горизонтом тонкорасслоенных пород, который называется нижним расслоенным горизонтом, и с которым тесно связана промышленная

малосульфидная платинометаллическая минерализация; 2) центральная подзона (2000-2150 м) представлена, в основном, массивными габброноритами с габбровой и габбро-офитовой структурами; 3) верхняя подзона (650-700 м) трахитоидных габброноритов. Выше располагается второй горизонт тонкорасслоенных пород, который называется верхним расслоенным горизонтом. В нем также выявлено несколько уровней малосульфидной платинометаллической минерализации.

По ранее полученным данным (Баянова, 2004), U-Pb возрасты цирконов и бадделеита из габброноритов и анортозитов Западно-Панского блока интрузива находятся в интервале 2491-2447 млн лет. Согласно изотопным Sm-Nd и U-Pb геохронологическим данным (Баянова, 2004; Серов, Митрофанов, 2005; Серов и др., 2007), формирование рудоносных и безрудных горизонтов интрузива происходило в течение длительного временного интервала – около 80 млн лет.

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

Минеральная Sm-Nd изохрона (рис. 1, табл. 1) показала возраст 2475 ± 37 млн лет, $\epsilon_{Nd}(T) = +0.8 \pm 0.4$. Этот возраст интерпретируется как время кристаллизации рудоносных габброноритов Федоровотундровского блока массива.

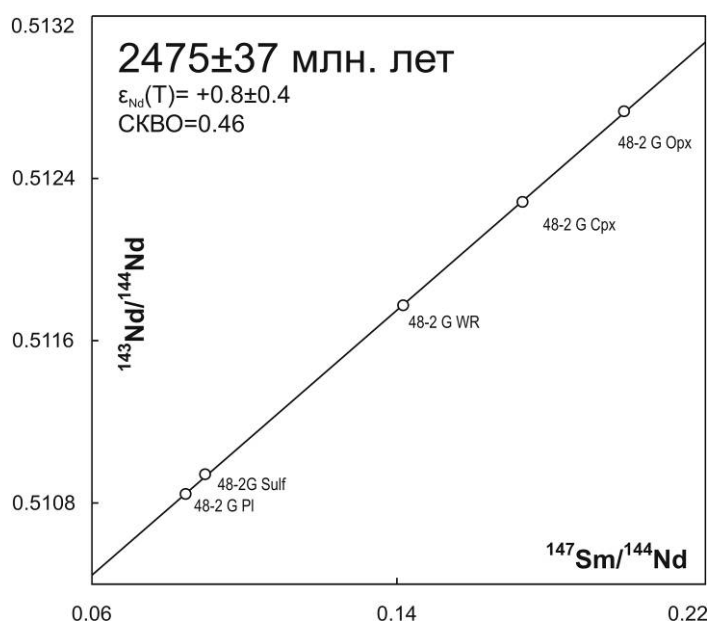


Рис. 1. Минеральная Sm-Nd изохрона для габброноритов Федоровотундровского блока интрузива (Кольский полуостров)

Таблица 1. Изотопные Sm-Nd данные для габброноритов Федорово-Панского массива

	Содержание, ppm		Изотопные отношения		$\epsilon_{Nd}(T)$
	Sm	Nd	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	
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	

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. Падение пород – к центру массива. Юго-восточная часть массива залегает с падением пород на северо-запад под углом от 5 до 40 градусов; в северо-западной части массива породы имеют юго-восточное падение под углами от 25 до 75 градусов.

Интрузия сформирована в две фазы: первая фаза содержит никелевую минерализацию, вторая составляет центральную расслоенную часть массива и является перспективной на ЭПГ. Массив разбурен при опробовании на палладий, золото и платину. Сопоставление данных по аномалиям, полученных в ходе геофизических работ (магниторазведка), и данных бурения показывают, что основные магнитные аномалии совпадают с повышенными содержаниями Pt, Pd и/или Au. Содержания благородных элементов в породах расслоенной интрузии варьируют для Pt от 0.05 до 1.11 %, для Pd от 0.04 до 0.3 % и для Au от 0.17 до 0.68 %.

Вмещающие породы – метаосадки, их ксенолиты встречаются в породах массива. Также отмечены контакты с вмещающими диоритами и гранитами.

Из коренных выходов пород интрузии на изотопное Sm-Nd датирование отобрана проба Ш-07-02 оливиновых габбро из расслоенной зоны массива, 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, $\epsilon_{Nd}(T) = -1.3 \pm 0.3$ (рис. 2, табл. 2). Отношения $^{147}\text{Sm}/^{143}\text{Nd}$ для исследованной породы варьируют от 0.06 до 0.16, что позволило добиться достаточно малой для Sm-Nd метода ошибки определения возраста. Изотопный состав неодима ($\epsilon_{Nd} = -1.3$) указывает на аномальный мантийный источник магм.

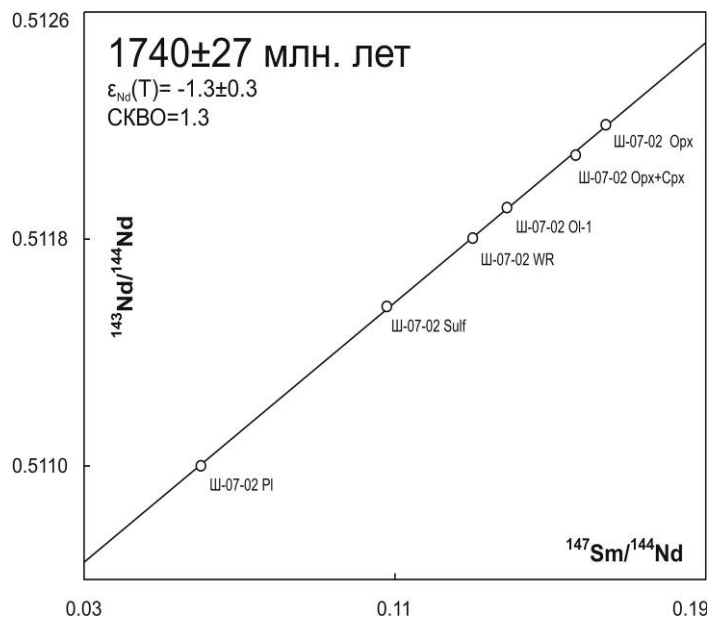


Рис. 2. Минеральная Sm-Nd изохрона для габбро массива Ноттреск (Швеция)

Таблица 2. Изотопные Sm-Nd данные для габбро массива Ноттреск (Швеция)

	Содержание, ppm		Изотопные отношения		$\epsilon_{Nd}(T)$
	Sm	Nd	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	
WR	1.904	8.852	0.130005	0.511803±23	-1.3±0.3
PI	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	

4. Заключение

Главная цель настоящей работы состояла в том, чтобы установить возможность использования сульфидов в Sm-Nd методе датирования рудоносных интрузий. Измеренные концентрации самария и неодима в сульфидах хотя и являются достаточно низкими (табл. 1, 2), однако находятся в пределах обнаружения масс-спектрометра.

Однако имеется вероятность того, что Sm и Nd, являясь редкоземельными элементами, могут присутствовать в высоких концентрациях во включениях внутри сульфидов (например, включения

монацита). В таком случае полученные изотопно-геохронологические характеристики могут не соответствовать реальным геологическим событиям. Поэтому важным этапом исследований является изучение сульфидных минералов в аншлифах для последующего отбора монофракций, не содержащих посторонних включений.

Таким образом, проведенные исследования показали, что сульфиды могут успешно применяться в Sm-Nd датировании рудоносных интрузий.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 07-05-00956, 08-05-00324, НШ 1413.2006.5, Госконтракта с Федеральным агентством по науке и инновациям 02.445.11.7403 и Финско-Российского проекта Interreg Tacis K-0193.

Литература

- Ludwig K.R.** ISOPLOT – A plotting and regression program for radiogenic – isotope data, version 2.56. Open file report 91-445. *US Geol. Surv.*, 40 p., 1991.
- Ludwig K.R.** ISOPLOT/Ex – A geochronological toolkit for Microsoft Excel, Version 2.05. *Berkeley Geochronology Center Special Publication*, No 1a, 1999.
- Morgan J.W., Wandless G.A.** Rare earth element distribution in some hydrothermal elements: Evidence for crystallographic control. *Geochim. et cosmochim. Acta*, v.44, p.973-980, 1980.
- Shannon R.D.** Revised effective ionic radii and systematic studies in interatomic distances in halides and chalcogenides. *Acta Crystallogr.*, v.32, p.751-767, 1976.
- Steiger R.H., Jäger E.** Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v.36, N 3, p.359-362, 1977.
- Баянова Т.Б.** Возраст реперных геологических комплексов Кольского региона и длительность процессов магматизма. *СПб., Наука*, 174 с., 2004.
- Додин Д.А., Чернышов Н.М., Яцкевич Б.А.** Платинометалльные месторождения России. *СПб., Наука*, 755 с., 2000.
- Докучаева В.С.** Петрология и условия рудообразования в Федорово-Панском интрузиве. Геология и генезис месторождений платиновых металлов. *М., Наука*, с.87-100, 1994.
- Митрофанов Ф.П., Балабонин Н.Л., Баянова Т.Б., Корчагин А.У., Латыпов, Осокин А.С., Субботин В.В., Карпов С.М., Нерадовский Ю.Н.** Кольская платинометалльная провинция: новые данные. Платина России. *М., Геоинформарк*, т.3, кн. 1, с.43-52, 1999.
- Митрофанов Ф.П., Яковлев Ю.Н., Балабонин Н.Л., Баянова Т.Б.** Кольская платиноносная провинция. Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов. *М., Геоинформарк*, с.66-77, 1994.
- Пожиленко В.И., Гавриленко Б.В., Жиров Д.В., Жабин С.В.** Геология рудных районов мурманской области. *Апатиты, КНЦ РАН*, 359 с., 2002.
- Римская-Корсакова М.Н., Дубинин А.В.** Редкоземельные элементы в сульфидах подводных гидротермальных источников Атлантического океана. *Доклады РАН*, т.389, № 5, с.672-676, 2003.
- Серов П.А., Митрофанов Ф.П.** Платиноносный расслоенный Федорово-Панский интрузив (Кольский полуостров): новые Sm-Nd изохроны и изотопно-геохимические данные. *Доклады РАН*, т.403, № 5, с.1-4, 2005.
- 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 РАН*, т.415, № 1, с.1-3, 2007.