

АНАЛИЗ ИЗОТОПНОЙ СИСТЕМЫ Sm-Nd В МИНЕРАЛАХ: К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НА ИСП-МАСС-СПЕКТРОМЕТРЕ NEPTUNE PLUS С ЛА-ПРИСТАВКОЙ NWR 213

Червяковская М.В., Червяковский В.С., Вотяков С.Л.

Институт геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого, УрО РАН, г. Екатеринбург

Изотопный состав Nd – важный индикатор петрогенеза и эволюции мантии земной коры. Результаты, полученные с использованием изотопной *in situ* ЛА-ИСП-МС-методики, как правило, обеспечивают необходимую точность, позволяющую «разрешать» масштабы геологических изменений; при этом основная экспериментальная трудность метода состоит в изобарических интерференциях РЗЭ Ce и Sm на Nd [Yang et al., 2009]. Следует отметить, что практически все минеральные объекты характеризуются вариациями в отношении Sm/Nd; это существенно затрудняет выбор стандартных образцов для изотопного анализа Nd. В работе [McFarlane, McCulloch, 2007] сообщалось о получении синтетических стандартов; но это не снимает проблему поиска и подбора природных стандартов для преодоления различий в матричных эффектах. Важным моментом при постановке методики анализа является разработка алгоритма обработки получаемых данных, включающего корректировку интерференций и влияний.

Таблица 1. Операционные параметры MC Neptune Plus и ЛА приставки NWR 213

<i>MC Neptune Plus</i>	
Мощность радиочастотного генератора, Вт	~1100
Расход плазмообразующего газа Ar, л/мин	15
Расход вспомогательного газа Ar, л/мин	1
Расход пробоподающего газа Ar, л/мин	0.9
Время интегрирования сигналов, с	0.131
Количество интегрирований	1
Число циклов	500
<i>ЛА приставка NWR 213</i>	
Плотность энергии лазерного излучения, Дж/см ²	12.5–13.5
Частота повторения импульсов, Гц	20
Диаметр кратера, мкм	13–50
Расход транспортирующего газа He, мл/мин	500–800
Время прогрева лазера, с	20
Время работы лазера, с	50

Цель работы – развитие методики исследования изотопной Sm/Nd-системы в ряде фосфатных и силикатных минералов с пространственным разрешением на уровне десятков мкм с использованием многоколлекторного ИСП-МС Neptune Plus с ЛА-приставкой NWR 213.

Оборудование, методика, стандарты. Эксперименты выполнены на оборудовании, размещенном в помещении класса чистоты 7 ИСО; в табл. 1-2 представлены оптимизированные параметры работы MC и ЛА-приставки, а также конфигурация коллекторов MC для измерения сигналов от изотопов (¹⁴²Nd+¹⁴²Ce), ¹⁴³Nd, (¹⁴⁴Nd+¹⁴⁴Sm), ¹⁴⁵Nd, ¹⁴⁶Nd, ¹⁴⁷Sm, ¹⁴⁹Sm, ¹⁵³Eu и ¹⁵⁷Gd. Проведена отработка процедуры корректировки эффектов фракционирования, дискриминации ионов по массе и изобарических помех ¹⁴⁴Sm на ¹⁴⁴Nd. Эксперименты выполнены при диаметре кратера лазерной абляции (D) от 13 до 50 мкм. Процедура обработки экспериментальных данных отработана на образце стандартного стекла JNdi-1 с известным изотопным составом (оксид Nd₂O₃ предоставлен Геологической службой Японии, концентрация Nd в образце ~35000 ppm [Fisher et al., 2011]). Измеренное изотопное отношение ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd в стекле при диаметре кратера 25 мкм составляет 0.512092±30 (табл. 3), что удовлетворительно согласуется с ранее опубликованными данными 0.512115±7 (TIMS) и 0.512089±23 LA-МС-ИСП-МС (D=40 – 80 мкм) [Fisher et al., 2011]. Для оценки корректности определения изотопного отношения ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd в присутствии Sm выполнено исследование стекла LREE Ndj, подобного стеклу JNdi-1, но с добавками Ce, Pr, Sm, Eu и Gd; концентрация Nd в образце ~12000 ppm, Sm ~5000 ppm [Fisher et al., 2011]. Значение ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd для стекла LREE Ndj составляет 0.512089±30, что удовлетворительно согласуется с литературными данными. Таким образом, результаты измерения стекол JNd-1 и LREE Ndj свидетельствуют о корректности данных, получаемых в рамках разработанной методики.

Таблица 2. Конфигурация коллекторов для измерения сигналов изотопов

Коллектор	L4	L3	L2	L1	C	H1	H2	H3	H4
Изотоп	¹⁴² Nd+ ¹⁴² Ce	¹⁴³ Nd	¹⁴⁴ Nd+ ¹⁴⁴ Sm	¹⁴⁵ Nd	¹⁴⁶ Nd	¹⁴⁷ Sm	¹⁴⁹ Sm	¹⁵³ Eu	¹⁵⁷ Gd

Таблица 3. Результаты ЛА-ИСП-МС анализа изотопного состава Sm/Nd в ряде минералов по авторским и литературным данным

Образец	Авторские данные					Литературные данные					
	D, мкм	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\pm 2\text{SD}$	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$\pm 2\text{SD}$	D, мкм	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\pm 2\text{SD}$	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$\pm 2\text{SD}$	Метод
Стандартное стекло JNdi-1	25	0.512092	± 30	-	-	-	0.512115	± 7	-	-	TIMS**
	-	-	-	-	-	40-80	0.512089	± 23	-	-	LA-MC-ICP-MS**
Стандартное стекло LREE Ndj	50	0.512089	± 30	0.2431	± 6	-	0.512115	± 7	0.2451	± 7	TIMS**
	-	-	-	-	-	60-110	0.512097	± 33	-	-	LA-MC-ICP-MS**
Апатит Durango	25	0.512435	± 16	0.0763	± 1	-	0.512489	± 12	0.0751	± 25	S*-MC-ICP-MS**
	50	0.512429	± 13	0.0753	± 7	148	0.512463	± 48	0.0785	± 58	LA-MC-ICP-MS**
Апатит Mun Mad	50	0.511336	± 77	0.0841	± 1	60-120	0.511322	± 53	0.0811	± 17	LA-MC-ICP-MS***
	-	-	-	-	-	-	0.511348	± 16	0.0818	± 05	S-MC-ICP-MS***
Титанит Hongo Canyon	25	0.512229	± 137	0.1128	± 1	-	0.512211	± 9	0.1176	± 110	TIMS**
	-	-	-	-	-	79	0.512185	± 35	0.160	± 228	LA-MC-ICP-MS**
Алланит Diabosatsu	25	0.512598	± 13	0.0710	± 2	-	0.512599	± 13	0.0767	± 37	TIMS**
	-	-	-	-	-	59	0.512578	± 26	0.0790	± 55	LA-MC-ICP-MS**
Монацит Trebilcock	13	0.512610	± 58	0.2313	± 1	-	0.512616	± 11	0.2167	± 125	TIMS**
	-	-	-	-	-	30	0.512607	± 26	0.2193	± 53	LA-MC-ICP-MS**

Примечание. *S – данные для раствора минерала; **[Fisher et al., 2011]; ***[Yang et al., 2014].

Апробация методики выполнена на серии межлабораторных минеральных образцов сравнения, включающих фторапатит Durango (карьер в Cerro de Mercado, северная окраина г. Durango, Мексика [Yang et al., 2014; Fisher et al., 2011]); фрагмент синего апатита ювелирного качества Mun Mad (Мадагаскар [Yang et al., 2014]); титанит Hongo Canyon NM-1 (граниты, каньон Hongo, северо-восток от Таос, Нью-Мексико [Fisher et al., 2011]); алланит Diabosatsu (гранитный пегматит, возраст ~13 Ма, перевал Daibosatsu, Yamanashi, Япония [Fisher et al., 2011]); монацит Trebilcock (пегматит Trebilcock, возраст ~270 Ма [Fisher et al., 2011]). Полученные для них авторские данные по изотопному составу Sm/Nd и их сопоставление с результатами, представленными в литературе, приведены в табл. 3; отмечено их удовлетворительное согласие.

Работа выполнена в ЦКП «Геоаналитик» при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-05-00403.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fisher C.M., McFarlane C.R.M., Hanchar J.M., Schmitz M.D., Sylvester P.J., Lam R., Longerich H.P. Sm–Nd isotope systematics by laser ablation-multicollector-inductively coupled plasma mass spectrometry: methods and potential natural and synthetic reference materials // Chem. Geol. 2011. V. 284. P. 1–20.
2. McFarlane C.R.M., McCulloch M.T. Coupling of in-situ Sm–Nd systematics and U–Pb dating of monazite and allanite with applications to crustal evolution studies // Chem. Geol. 2007. V. 245. P. 45–60.
3. Yang Y.-H., Wu F.-Y., Wilde S.A., Lui X.M., Zhang Y.B., Xie L.W., Yang J.H. In situ perovskite Sr–Nd isotopic constraints on the petrogenesis of the Ordovician Mengyin kimberlites in the North China Craton // Chem. Geol. 2009. V. 264. P. 24–42.
4. Yang Y.-H., Wu F.-Y., Yang J.-H., Chew D.M., Xie L.-W., Chu Z.-Y., Zhang Y.-B., Huang C. Sr and Nd isotopic compositions of apatite reference materials used in U–Th–Pb geochronology // Chemical Geology. 2014. V. 385. P. 35–55.