

## Литература

Надретт А. Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометалльных руд. СПб.: СПбГУ, 2003. 487 с.

Нерович Л. И., Баянова Т. Б., Кунаккузин Е. Л., Базай А. В., Некипелов Д. А. Новые результаты геолого-петрографического и петро-геохимического изучения расслоенного массива Ярва-Варака (Мончегорский рудный район) // Труды XII Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской научной сессии, посвящённой 80-летию со дня рождения акад. РАН Ф. П. Митрофанова (Апатиты, 6–7 апреля 2015 г.). Апатиты, 2015. С. 141–146.

Предовский А. А. Реконструкция условий седиментогенеза и вулканизма раннего докембрия. Л.: Наука, 1980. 152 с.

Maeda J. Opening of the Kuril Basin deduced from the magmatic history of Central Hokkaido, North Japan // Tectonophysics. 1990. Vol. 174, No. 3–4. P. 235–255.

Tankard A. J., Eriksson K. A., Hobday D. K., Jackson M. P. A., Minter W. E. L., Hunter D. R. Evolution of Southern Africa: 3.8 Billion Years of Earth History. New York, Springer-Verlag, 1982. P. 200–203.

## Сведения об авторах

### Сосновская Маргарита Александровна

студентка, Апатитский филиал Мурманского государственного технического университета, margarita\_margol@mail.ru

### Нерович Людмила Ивановна

кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, Геологический институт ФИЦ КНЦ РАН, neroch@geoks.apatity.ru

### Sosnovskaya Margarita Alexandrovna

Student, Apatity Branch of Murmansk State Technical University, margarita\_margol@mail.ru

### Nerovich Lyudmila Ivanovna

PhD (Geology & Mineralogy), Researcher, Geological Institute of FRC KSC RAS, neroch@geoks.apatity.ru

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.6.035  
УДК (550.4)

**Е. Н. Стешенко, П. А. Серов, Е. Л. Кунаккузин, Н. А. Екимова, Д. В. Елизаров**  
Геологический институт ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия

## **НОВЫЕ ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ (Nd–Sr) ДАННЫЕ ДЛЯ ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКОГО КАНДАЛАКШСКО-КОЛВИЦКОГО ГАББРО-АНОРТОЗИТОВОГО КОМПЛЕКСА**

### Аннотация

Приводятся новые Sm–Nd и Nd–Sr изотопно-геохронологические данные для пород Кандалакшско-Колвицкого палеопротерозойского габбро-анортозитового комплекса. Изотопный Sm–Nd-возраст по метаморфическим минералам (апатиту, гранату, сульфидам) и породе Колвицкого массива составил  $1985 \pm 17$  млн лет (гранулитовый метаморфизм), Кандалакшского массива —  $1887 \pm 7$  млн лет (высокотемпературные метасоматические преобразования) и  $1692 \pm 71$  млн лет (региональная флюидная переработка). Модельный Sm–Nd-возраст метагаббро равен 3,3 млрд лет

с отрицательной величиной  $\epsilon Nd = -5,5$ , что соответствует либо процессам коровой контаминации, либо первично-обогащенному мантийному резервуару исходных магм. Согласно геохронологическим и Nd–Sr изотопным данным, породы Кандалакшско-Колвицкого комплекса, по-видимому, имели общий аномальный мантийный источник с палеопротерозойскими расслоенными интрузиями Балтийского щита.

**Ключевые слова:**

*палеопротерозой, анортозиты, Sm–Nd, Nd–Sr,  $\epsilon Nd$ .*

**E. N. Steshenko, P. A. Serov, E. L. Kunakkuzin, N. A. Ekimova, D. V. Elizarov**  
Geological Institute of FRC KSC RAS, Apatity, Russia

**NEW (ND–SR) ISOTOPE DATA FOR THE PALEOPROTHEROZOIC  
KANDALAKSHA-KOLVITSA GABBRO-ANORTOZITE COMPLEX**

**Abstract**

Kandalaksha-Kolvitsa gabbro-anorthosite complex has a complex geological structure and composition. New Sm–Nd and Nd–Sr isotopic and geochronological data for the rocks of the Kandalaksha-Kolvitsa Paleoproterozoic gabbro-anorthosite complex are presented. Sm–Nd isotopic age of metamorphic minerals (apatite, garnet, sulfide) and the rock was  $1985 \pm 17$  Ma (granulite metamorphism),  $1887 \pm 37$  Ma (high-temperature metasomatic transformation),  $1692 \pm 71$  Ma (regional fluid elaboration). A model Sm–Nd age of metagabbros is 3,3 Ga with a negative value of  $\epsilon Nd = -5,5$ , which corresponds to a process of crustal contamination, or primary-enriched mantle source of magma reservoir. According to geochronological and Nd–Sr isotopic data, the rocks of the Kandalaksha-Kolvitsa complex apparently had a common anomalous mantle source with Paleoproterozoic layered intrusions of the Baltic shield.

**Keywords:**

*paleoproterozoic, anorthosites, Sm–Nd, Nd–Sr,  $\epsilon Nd$ .*

Кандалакшско-Колвицкая зона является южной частью Лапландского гранулитового пояса (ЛПП) и сложена вулканогенными толщами с залегающими среди них телами анортозитов. В пределах Балтийского щита полихронный (от неoarхейского до палеопротерозойского возраста) габбро-анортозитовый магматизм широко проявлен в различных структурных обстановках, с которыми ассоциируют Ti–V (в неoarхее) и Cu–Ni–ЭПГ (в палеопротерозое) месторождения (Митрофанов и др 1993). Кандалакшско-Колвицкий габбро-анортозитовый комплекс залегает на гранатовых плагиоамфиболитах кандалакшской толщи и перекрывается гранат-клинопироксен-плагиоклазовыми кристаллосланцами плоскотундровской толщи, метаморфизованными в условиях гранулитовой фации (Стешенко и др., 2015; Чашин и др., 2016) и представляет большой интерес для комплексных изотопно-геохимических исследований. Впервые с использованием  $^{205}\text{Pb}$  искусственного трассера U–Pb-методом были датированы единичные зёрна циркона из метагаббро Колвицкого массива, возраст которых равен  $2448 \pm 5$  млн лет.

Для главных разновидностей пород Кандалакшско-Колвицкого габбро-анортозитового комплекса были проведены изотопно-геохимические Sm–Nd и Rb–Sr (по породе и минералам) исследования на базе Центра коллективного пользования ГИ ФИЦ КНЦ РАН. Sm–Nd-методом для метагаббро Колвицкого массива получен возраст  $1985 \pm 17$  млн лет (рис. 1, а), который соответствует времени гранулитового метаморфизма, широко проявленного в пределах Лапландского гранулитового пояса (Баянова, 2004; Пожиленко и др., 2002; Ранний..., 2005).

Включение сульфидных минералов в изотопную систему позволило снизить ошибки определения возраста и величину СКВО за счет большего количества фигуративных точек и расширения интервала значений  $^{147}\text{Sm} / ^{144}\text{Nd}$ . В целом использование сульфидов в качестве геохронометров дает положительные результаты на ряде промышленно значимых объектов Балтийского щита (Серов и др., 2009).

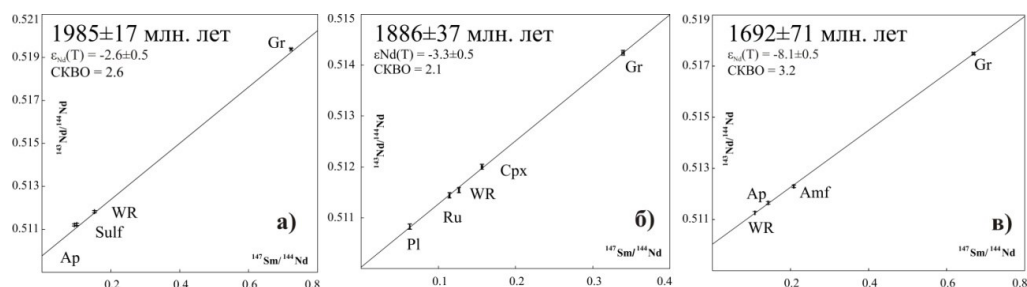


Рис. 1. Изотопные Sm–Nd изохроны для метаморфических минералов из метабброидов Колвицкого массива (проба 200) (а), породообразующих и метаморфических минералов из анортозитов (проба 225/1) (б) и габбро (проба 183) (в) Кандалакшского массива

Fig. 1. Isotope Sm–Nd isochrons for metamorphic minerals from metagabbroids of the Kolvitsa massif (sample 200) (a), rock-forming and metamorphic minerals from anorthosites (sample 225/1) (б) and gabbro (sample 183) (в) of the Kandalaksha massif

Модельный Sm–Nd-возраст этих габброидов приближается к 3,3 млрд лет (табл.), что является характерной величиной для палеопротерозойской рудно-магматической системы Балтийского щита (Mitrofanov et al., 2019).

Согласно данным таблицы  $T_{\text{DM}} = 2,7\text{--}2,9$ , величина  $\epsilon_{\text{Nd}}$  варьирует в диапазоне от  $-0,02$  до  $-5,53$ , что позволяет сделать вывод о наличии новообразованной океанической коры (Mints et al., 2017).

Из метаанортозитов Кандалакшского массива (проба 225/1) для Sm–Nd-исследований были отобраны монофракции рутила, граната, плагиоклаза и клинопироксена. Вместе с породой в целом на Sm–Nd-диаграмме в изохронных координатах они образуют зависимость, отвечающую возрасту  $1886 \pm 37$  млн лет (рис. 1, б). Условия гранулитовой фации предполагают температуры порядка  $900\text{--}800$  °C, поэтому можно говорить о том, что Sm–Nd-системы были перестроены. Близкий Sm–Nd-возраст,  $1886 \pm 9$  млн лет, был получен для силлиманит-ортопироксен-гранатовых пород Порьегубского покрова ЛГП и интерпретируется авторами работы (Лебедева и др., 2010) как возраст высокотемпературного метасоматоза.

Для метаморфизованных лейкогаббро Кандалакшского массива (проба 183) по породе в целом, апатиту, амфиболу и гранату получен Sm–Nd-возраст  $1692 \pm 71$  млн лет (рис. 1, в), близкий к U–Pb-возрасту рутила и фиксирующий, по-видимому, процессы остывания или низкотемпературной переработки в породах Кандалакшского массива на рубеже 1,7 млрд лет. Возраст 1,7 млрд лет достаточно широко проявлен на Кольском полуострове и связан, по-видимому, с флюидной переработкой пород при температурах не выше  $450$  °C (Каулина, 2010).

Результаты изотопного Sm–Nd-анализа главных разновидностей пород Кандалакшко-Колвицкого габбро-анортозитового комплекса

The results of the Sm–Nd isotope analysis of the main varieties of rocks of the Kandalaksha-Kolvitsa gabbro-anorthosite complex

Концентрация, мкг/г		Изотопные отношения		T, млн лет	ISr	Концентрация, мкг/г		Изотопные отношения		T <sub>DM</sub> , млн лет	ε <sub>Nd</sub> (T)	Возраст , млрд лет
Rb	Sr	<sup>87</sup> Rb / <sup>86</sup> Sr r	<sup>87</sup> Sr / <sup>86</sup> Sr			Sm	Nd	<sup>147</sup> Sm / <sup>144</sup> Nd d	<sup>143</sup> Nd / <sup>144</sup> Nd			
Проба 220/1, метанорит, Кандалакшский массив												
16,49	259,0	0,1796	0,70744 ± 18	2100	0,7020	0,155	0,916	0,1025	0,511116 ± 31	2776	-0,02	
Проба 225/1, анортозит, Кандалакшский массив												
						0,419	2,003	0,1265	0,511544 ± 8	2796	-1,23	1,9
Проба 183, метагаббро, Кандалакшский массив												
7,37	367,3	0,0566	0,70426 ± 16	2453	0,7023	0,459	2,553	0,1087	0,511263 ± 31	2728	-1,25	1,7
Проба 185, метаперидотит, Кандалакшский массив												
13,73	90,6	0,4277	0,71758 ± 17	2450	0,7024	1,407	6,489	0,131015	0,511532 ± 7	2969	-0,95	
Проба 200, метагаббро, Колвицкий массив												
6,59	249,6	0,0745	0,70516 ± 12	2448	0,7025	0,845	3,354	0,1524	0,511823 ± 9	3282	-1,96	1,9
Проба 205, субщелочной гнейсогранит, Колвицкий массив												
89,12	114,9	2,1884	0,78443 ± 18	2383	0,7091							
Проба 194/1, метагаббро, Колвицкий массив												
2,78	427,0	0,0184	0,70221 ± 15	2450	0,7016							
Проба 210, гнейсо-плагиогранит, TTG-?, Колвицкий массив												
60,93	235,7	0,729350	0,72950 ± 19	2450	0,70193	2,007	10,835	0,111983	0,511192 ± 9	2920	-1,59	
Проба 276, гранат-плагиоклазовый кристаллосланец, Колвицкий массив												
						6,891	20,935	0,198946	0,512396 ± 9		-5,53	

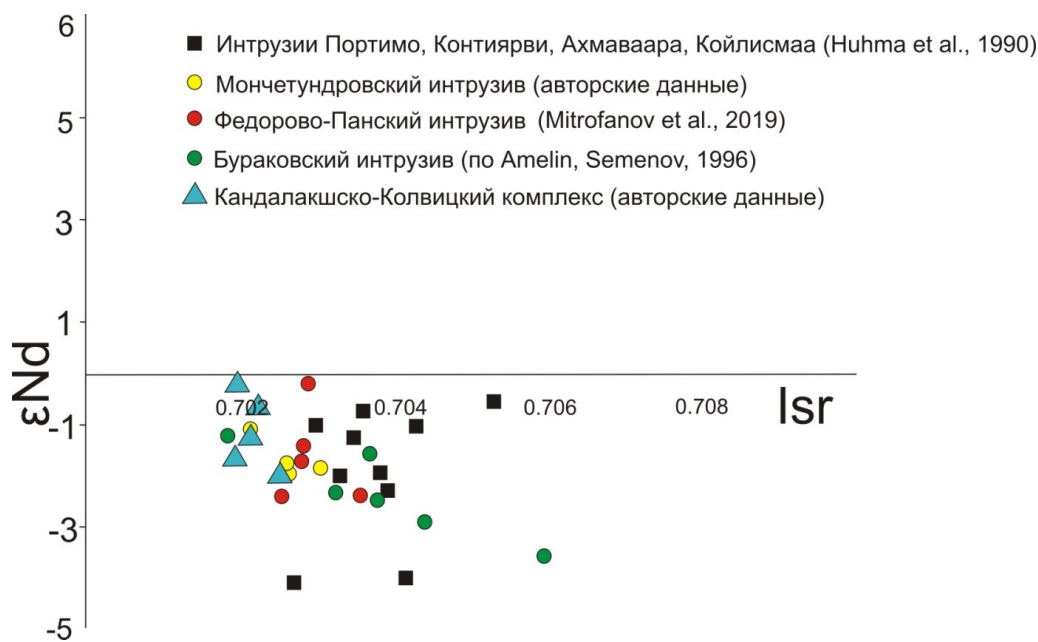


Рис. 2. Вариации  $\epsilon_{Nd}$  и  $I_{Sr}$  в породах расслоенных протерозойских интрузий Балтийского щита

Fig. 2.  $\epsilon_{Nd}$  and  $I_{Sr}$  variations in the rocks of the stratified Proterozoic intrusions of the Baltic Shield

Кроме того, был проведен также анализ изотопных составов стронция для построения диаграммы в координатах  $\epsilon_{Nd}(T) - I_{Sr}$  (рис. 2, табл.). Согласно геохронологическим и Nd–Sr изотопным данным, породы Кандалакшско-Колвицкого комплекса, по-видимому, имели общий аномальный мантийный источник с палеопротерозойскими расслоенными интрузиями Балтийского щита (рис. 2). Полученные данные хорошо согласуются с уже известными изотопно-геохимическими характеристиками для рудоносных расслоенных интрузий северо-восточной части Балтийского щита (Баянова, 2004; Bayanova et al., 2019; Mitrofanov et al., 2019). Породы этих интрузивов, отнесенных к пироксенит-габбронорит-анортозитовой формации, характеризуются сходными изотопно-геохимическими характеристиками: 1) возрастной интервал формирования по U–Pb и Sm–Nd геохронологическим данным находится в интервале от 2530 до 2400 млн лет; 2) мантийный резервуар, являющийся источником магм, формировавших массивы, обогащен литофильными элементами, величины  $I_{Sr}$  варьируют от 0,702 до 0,706,  $\epsilon_{Nd}(T)$  — от -0,02 до -3; 3) модельные  $Sm-Nd$ -возрасты  $T_{DM}$  протолитов — 2,8–3,3 млрд лет.

### Благодарности

Работа посвящена памяти академика РАН Феликса Петровича Митрофанова за постановку научной проблемы

Научные исследования выполнены в рамках темы НИР ГИ КНЦ РАН № 0226-2019-0053, проектов РФФИ 18-05-70082 «Ресурсы Арктики», 18-35-00246 мол\_а, 18-35-00152 мол\_а и программы Президиума РАН № 8.

## Литература

- Баянова Т. Б.* Возраст реперных геологических комплексов Кольского региона и длительность процессов магматизма. СПб.: Наука, 2004. 174 с.
- Каулина Т. В.* Образование и преобразование циркона в полиметаморфических комплексах. Апатиты: КНЦ РАН, 2010. 144 с.
- Лебедева Ю. М., Глебовицкий В. А., Бушмин С. А., Богомолов Е. С., Савва Е. В., Лохов К. И.* Возраст высокобарического метасоматоза в зонах сдвиговых деформаций при коллизионном метаморфизме в Лапландском гранулитовом поясе: Sm–Nd-метод датирования парагенезисов из силлиманит-ортопироксеновых пород Порьегубского покрова // ДАН. 2010. Т. 432, № 1. С. 99–102.
- Митрофанов Ф. П., Балаганский В. В., Балашов Ю. А. и др.* U–Pb возраст габбро-анортозитов Кольского полуострова // ДАН. 1993. Т. 331, № 1. С. 95–98.
- Пожиленко В. И., Гавриленко Б. В., Жиров Д. В., Жабин С. В.* Геология рудных районов Мурманской области. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2002. 359 с.
- Ранний докембрий Балтийского щита / ред. В. А. Глебовицкий.* СПб.: Наука, 2005. 711 с.
- Серов П. А., Екимова Н. А.* Возможности Sm–Nd датирования рудных процессов с использованием сульфидов // Вестник МГТУ. 2009. Т. 12, № 3. С. 456–460.
- Стешенко Е. Н., Баянова Т. Б., Серов П. А. и др.* // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2015. № 11. С. 19–24.
- Чащин В. В., Стешенко Е. Н., Савченко Е. Э. и др.* // Литосфера. 2016. № 5. С. 17–34.
- Amelin Yu. V., Semenov V. S.* U–Nd and Sr isotopic geochemistry of mafic layered intrusions in the eastern Baltic Shield: implications for the evolution of Paleoproterozoic continental mafic magmas // Contrib. Miner. Petrol. 1996. Vol. 124. P. 255–272.
- Bayanova T., Korchagin A., Mitrofanov A., Serov P., Ekimova N., Nitkina E., Kamensky I., Elizarov D., Huber M.* Long-Lived Mantle Plume and Polyphase Evolution of Palaeoproterozoic PGE Intrusions in the Fennoscandian Shield // Minerals. 2019. Vol. 9, No. 59. P. 1–22. DOI: 10.3390/min9010059
- Huhma H., Cliff R., Perttunen V., Sakko M.* Sm–Nd and Pb isotopic study of mafic rocks associated with early Proterozoic continental rifting: the Perapohja schist belt in northern Finland // Contrib. Mineral. Petrol. 1990. Vol. 104. P. 369–379.
- Mints M. V.; Sokolova E. Yu., Glaznev V. N.* LADOGA work team. 3D model of deep structure of the Svecofennian accretion orogen (Finland, Russia): synthesis of data on geological mapping, seismic profiling, metal tellurics and Proceedings of the Scientific Conference and Guidebook on Scientific Excursions. Geodynamics of the Early Precambrian: common and distinguish features with the Phanerozoic. Petrozavodsk: Karelian Scientific Centre RAS, 2017. P. 179–184.
- Mitrofanov F. P., Bayanova T. B., Ludden J. N., Korchagin A. U., Chashchin V. V., Nerovich L. I., Serov P. A., Mitrofanov A. F., Zhirov D. V.* Origin and Exploration of the Kola PGE-bearing Province: New Constraints from Geochronology // Ore Deposits: Origin, Exploration, and Exploitation / Edited by Sophie Decree and Laurence Robb // Geophysical Monograph Series. Wiley, 2019. P. 3–36. Print ISBN: 9781119290537 | Online ISBN: 9781119290544. |DOI: 10.1002/9781119290544.ch1

*Сведения об авторах*

**Стешенко Екатерина Николаевна**

младший научный сотрудник, Геологический институт ФИЦ КНЦ РАН,  
steshenko@geoksc.apatity.ru

**Серов Павел Александрович**

кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Геологический институт ФИЦ КНЦ РАН, serov@geoksc.apatity.ru

**Кунаккузин Евгений Леонидович**

младший научный сотрудник, Геологический институт ФИЦ КНЦ РАН,  
kunakkuzin@geoksc.apatity.ru

**Екимова Надежда Александровна**

младший научный сотрудник, Геологический институт ФИЦ КНЦ РАН,  
ekimova@geoksc.apatity.ru

**Елизаров Дмитрий Владимирович**

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Геологический институт ФИЦ КНЦ РАН, elizarov@geoksc.apatity.ru

**Steshenko Ekaterina Nikolaevna**

Junior Researcher, Geological Institute of FRC KSC RAS, steshenko@geoksc.apatity.ru

**Serov Pavel Alexandrovich**

PhD (Geology & Mineralogy), Senior Researcher, Geological Institute of FRC KSC RAS,  
serov@geoksc.apatity.ru

**Kunakkuzin Evgeny Leonidovich**

Junior Researcher, Geological Institute of FRC KSC RAS, kunakkuzin@geoksc.apatity.ru

**Ekimova Nadezhda Aleksandrovna**

Junior Researcher, Geological Institute of FRC KSC RAS, ekimova@geoksc.apatity.ru

**Elizarov Dmitry Vladimirovich**

PhD (Engineering), Senior Researcher, Geological Institute of FRC KSC RAS,  
elizarov@geoksc.apatity.ru