НОВЫЕ ИЗОТОПНЫЕ U-Pb- И Sm-Nd-ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ ФОРМИРОВАНИЯ И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ КАНДАЛАКШСКО-КОЛВИЦКОГО ГАББРОАНОРТОЗИТОВОГО КОМПЛЕКСА (БАЛТИЙСКИЙ ЩИТ)

Е. Н. Стешенко, Т. Б. Баянова, П. А. Серов, В. В. Чашин, Л. М. Лялина

Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты

steshenko@geoksc.apatity.ru

В работе приводятся новые U-Pb- и Sm-Nd- изотопно-геохронологические данные для пород кандалакшско-колвицкого палеопротерозойского габброанортозитового комплекса. Впервые с использованием искусственного ^{205}Pb -трассера U-Pb-методом были продатированы единичные зёрна циркона из метагаббро Колвицкого массива, возраст которых равен (2448 ± 5) млн. лет. Изотопный Sm-Nd-возраст по метаморфическим минералам – апатиту, гранату, сульфидам и WR Колвицкого массива – равен (1985 ± 17) млн лет и интерпретируется гранулитовым метаморфизмом. Цирконы из анортозитов Кандалакшского массива отразили U-Pb-возраст раннего этапа гранулитового метаморфизма, равный (2230 ± 10) млн лет. Sm-Nd-исследования Кандалакшского массива отразили возраст высокотемпературных метасоматических преобразований – (1887 ± 37) млн лет и время региональной флюидной переработки – (1692 ± 71) млн лет. Модельный Sm-Nd-возраст метагаббро Колвицкого массива равен 3.3 млрд лет с отрицательной величиной $\epsilon\text{Nd} = -4.6$, что соответствует, скорее всего, первично обогащенному мантийному резервуару исходных магм, подобных расслоенным ЭПГ-интрузиям палеопротерозоя (Фёдорово-Панский массив, Имандровский лополит, г. Генеральская, Мончегорский плутон, Мончетундра).

Ключевые слова: анортозиты, единичные зёрна циркона, U-Pb, Sm-Nd, ϵNd .

NEW U-Pb- AND Sm-Nd-ISOTOPE DATA OF THE AGE OF FORMATION AND METAMORPHIC ALTERATION OF THE KANDALAKSHA-KOLVITSA GABBRO-ANORTHOSITE COMPLEX (BALTIC SHIELD)

E. N. Steshenko, T. B. Bayanova, P. A. Serov, V. V. Chaschin, L.M. Lyalina

Geological Institute KSC RAS

steshenko@geoksc.apatity.ru

New U-Pb and Sm-Nd isotopic and geochronological data for the rocks of the Kandalaksha-Kolvitsa Paleoproterozoic gabbroanorthosite complex is presented. For the first time single zircon grains from metagabbros of Kolvitsa massif were dated (2448 ± 5) Ma, using U-Pb method with an artificial ^{205}Pb tracer. Sm-Nd isotopic age of the metamorphic minerals apatite, garnet and sulphide WR Kolvitsa array is (1985 ± 17) Ma, which is interpreted as granulite metamorphism. Zircon from anorthosite massif reflected Kandalaksha U-Pb age of the early stages of granulite metamorphism equal to (2230 ± 10) Ma. Sm-Nd research Kandalaksha massif reflected the age of the high-temperature metasomatic transformations – (1887 ± 37) Ma. Time of regional fluid processing – (1692 ± 71) Ma. A model Sm-Nd age of metagabbros of Kolvitsa massif is 3.3 Ga with a negative value $\epsilon\text{Nd} = -4.6$, which corresponds to the most likely primary enriched mantle reservoir of source magma like PGE layered intrusions of Paleoproterozoic (Fedorovo-Pansky massif, Imandra lopolith, Mt. Generalskaya, Monchegorskiy pluton, Monchetundra).

Keywords: anorthosite, single zircon grains, U-Pb, Sm-Nd, ϵNd .

Введение

Кандалакшско-Колвицкая зона является южной частью Лапландского гранулитового пояса (ЛГП) и сложена вулканогенными толщами с залегающими среди них телами анортозитов. Целью исследования являлся U-Pb- и Sm-Nd-возраст образования

и последующих метаморфических преобразований Кандалакшского и Колвицкого анортозитовых массивов. Для этого были использованы изотопные методы U-Pb-датирования по единичным зёрнам циркона и Sm-Nd-систематике – по породе, породообразующим и метаморфическим

минералам. Ранее наиболее полно в геохронологическом отношении были изучены породы Колвицкого массива. Согласно этим данным, возраст формирования массива определен U-Pb-методом по циркону (2450 ± 10) млн лет [7] и (2462 ± 7) млн лет [11], а в Кандалакшско-Колвицкой зоне

Рис. 1. Изотопные U-Pb-диаграммы для а – единичных зёрен циркона из метагаббро Колвицкого (проба 200), б – анортозитов Кандалакшского (проба 225/1) массивов

Fig. 1. Isotope U-Pb-diagrams for а – single zircon grains from metagabbro of Kolvitsky (sample 200), б – anorthosite of Kandalakshsky (sample 225/1) massif

выделено несколько этапов метаморфизма [9].

Геологическое строение массивов

Кандалакшско-колвицкий габброанортозитовый комплекс, включающий Кандалакшский и Колвинский массивы, расположен на юге Кольского полуострова, в районе Колвицкой губы Кандалакшского залива Белого моря. В основании Колвицкого массива залегает кандалакшская толща мезомеланократовых гранатовых амфиболитов мощностью от 200 м до 2.0 км, U-Pb-возраст по циркону которой состав-

ляет (2467 ± 3) млн лет [1]. Выше по разрезу развита интрузия колвицких габбро анортозитов протяженностью не менее 20 км, разрез которой представляется в следующем виде: в основании залегает лейкократовое метагаббро мощностью 200–300 м, средняя часть мощностью 1–2 км сложена метаанортозитами, иногда с маломощными прослоями и линзами лейкогаббро, а верхняя часть мощностью от 200 м до 1.5 км представлена метагаббро. Колвицкий массив перекрыт плоскотундровской толщей гранат-пироксен-плаггиоклазовых кристаллосланцев мощностью не менее 2 км.

В основании Кандалакшского

массива залегает впервые встреченный авторами в ходе полевых работ в 2012 году фрагмент краевой зоны с видимой мощностью первые метры, представленный мезократовыми метаноритами. Наличие краевой зоны может свидетельствовать о присутствии сульфидной минерализации с платиноидами, характерной для расслоенных интрузий и анортозитовых массивов [12]. Главная зона интрузии в основании сложена прерывистой полосой лейкократовых метагаббро (мощность 200–300 м), выше по разрезу развита зона чередования метаанортозитов и лейкократовых метагаббро

Рис. 2. Изотопные Sm-Nd-изохроны для а – метаморфических минералов из метагабброидов Колвицкого массива (проба 200), б – породообразующих и метаморфических минералов из анортозитов (проба 225/1) и в – габбро (проба 183) Кандалакшского массива

Fig. 2. Isotope Sm-Nd-isochrones for а – metamorphic minerals from metagabbroids of Kolvitsky massif (sample 200), б – rock forming and metamorphic minerals from anorthosites (sample 225/1) and в – gabbro (sample 183) of Kandalakshsky massif

Таблица 1

Изотопные U-Pb-данные для единичных зерен циркона из метагаббро и анортозита кандалакшско-колвицкого габброанортозитового комплекса

Table 1

Isotope U-Pb-data for single zircon grains from metagabbro and anorthosite of kandalakshsky-kolvitsky gabbroanorthosite complex

Навеска		Концентрация, ppm		Изотопные отношения*				Изотопные отношения и возраст, млн лет**			%
описание	(мг)	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	Дис.
Колвицкий массив, метагаббро (проба 200), магматический циркон											
и, в, н/к, с/б, н/з, 105x105 мкм	0.0475	11.94	15.97	209.32	0.462±0.008	10.274±0.190	0.1613±0.0006	2448±44	2460±46	2470±8	0.9
п, св/к, п/п, с/к, р/з, 175x105 мкм	0.0800	11.08	15.17	726.92	0.464±0.018	10.225±0.389	0.1644±0.0011	2448±93	2452±93	2461±17	0.5
Кандалакшский массив, анортозит (проба 225/1), метаморфический циркон											
р, пр, с/к, с/б, н/з, 140x140 мкм	0.200	12.51	13.51	74.95	0.4151±0.0002	8.048±0.0016	0.1406±0.0003	2238±12	2236±47	2235±40	-0.13
т/р, пр, с/к, с/б, н/з, 175x105 мкм	0.063	21.08	40.39	781.17	0.4121±0.0002	7.968±0.0024	0.1402±0.0002	2224±10	2227±10	2230±3	0.27

*Все отношения скорректированы на холостое загрязнение 1 пг для Pb и 10 пг для U и масс-дискриминацию (0.12±0.04) %.

**Коррекция на примесь обыкновенного свинца определена на возраст по модели [15].

Примечание. И-изометрические зёрна; в-водяно-прозрачные; н/к-некорродированные; с/б — стеклянный блеск; п-призматические зёрна; св/к-светло-коричневый цвет; п/п-полупрозрачные; с/к-слабо корродированные; р/з-ритмичная зональность; н/з-зональность не просматривается; р-розовый цвет; т/р-тёмно-розовый цвет; пр-прозрачные зёрна.

(мощность от 200–300 м до 1 км). Гипсометрически выше встречен контакт с залегающими образованиями плоскотундровской толщи гранат-пироксен-плагиоклазовых кристаллосланцев. Все породы кандалакшско-колвицкой зоны метаморфизованы в условиях гранулитовой фации, катаклазированы и милонитизированы с образованием тонкополосчатых бластомилонитов и бластокатаклизитов по анортозиту и лейкогаббро.

Результаты U-Pb- и Sm-Nd-изотопных исследований

Колвицкий массив

Впервые с использованием искусственного трассера ^{205}Pb в U-Pb-методе датирования единичных зёрен циркона [3] были проанализированы цирконы из метагаббро Колвицкого массива.

На U-Pb-датирование из мономинеральной фракции цирконов (табл. 1, проба 200, Колвицкий массив) были отобраны зерна двух морфотипов. Изотопный U-Pb-возраст

по двум точкам равен (2448±5) млн лет (рис. 1, а), координаты точек находятся на конкордии. Этот возраст интерпретируется как магматический за счёт низких концентраций U и Pb, характерных для магматических цирконов из пород основного состава [2]. Полученный новый U-Pb-возраст по единичным зёрнам интерпретируется как время формирования габбро Колвицкого массива [16] и близок полученным ранее U-Pb-возрастам по цирконам для анортозитов этого массива - (2450±7) [7] и (2462±7) млн лет [11].

Было проведено изотопное Sm-Nd-датирование метаморфических минералов метагаббро Колвицкого массива (табл. 2, проба 200). Новый изотопный Sm-Nd-возраст по гранату, апатиту, сульфидным минералам из метагаббро Колвицкого массива равен (1985±17) млн лет (рис. 2, а) и, по-видимому, соответствует пику гранулитового метаморфизма, широко проявленного в пределах Лапландского гранулитового пояса [2, 8, 9]. Включение сульфид-

ных минералов в изотопную Sm-Nd-систематику позволило снизить ошибки определения возраста и величину СКВО за счёт большего количества фигуративных точек. В целом, использование сульфидов в качестве геохронометров в Sm-Nd-систематике даёт положительные результаты на ряде промышленно значимых объектов Балтийского щита [10]. Модельный Sm-Nd-возраст для колвицких габброидов равен 3.3 млрд лет (табл. 2), значение ϵ_{Nd} , рассчитанное на возраст 2.45 млрд лет, равно -4.6, что является характерной величиной для палеопротерозойской Cu-Ni, Cr, Ti-V- и ЭПГ рудно-магматической системы Балтийского щита [2].

Кандалакшский массив

На U-Pb-датирование из мономинеральной фракции цирконов (проба 225/1, Кандалакшский массив) были отобраны зерна двух типов, по которым получен новый конкордантный U-Pb-возраст, равный (2230±10) млн лет (рис. 1, б). Данный возраст, по-видимому, отражает раннюю стадию гранулитов-

Таблица 2

Результаты изотопного Sm-Nd-анализа пород и минералов массивов колвицко-кандалакшского габброанортозитового комплекса

Table 2

Results of isotope Sm-Nd-analysis of rocks and minerals of massifs of Kolvitska-Kandalaksha gabbroanorthosite complex

Образец	Концентрация, мкг/г		Изотопные отношения		T _{DM} , млн. лет
	Sm	Nd	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	
Проба 225/1, анортозит, Кандалакшский массив					
225/1 WR	0.419	2.00	0.1265	0.511544±8	2796
225/1 Pl	0.181	1.743	0.0627	0.510823±34	
225/1 Ru	0.399	2.11	0.1143	0.511440±24	
225/1 Gr	0.513	0.915	0.3392	0.514235±20	
Проба 183, метагаббро, Кандалакшский массив					
183 WR	0.459	2.553	0.1087	0.511263±31	2728
183 Ap	20.1	85.2	0.1427	0.511653±15	
183 Amp	2.39	6.93	0.2084	0.512290±8	
183 Gr	1.252	1.131	0.6689	0.517489±17	
Проба 200, метагаббро, Колвицкий массив					
200 WR	0.845	3.35	0.1524	0.511823±9	3300
200 Sulf	0.068	0.435	0.0940	0.511204±23	
200 Ap	23.5	140.4	0.1011	0.511226±12	
200 Gr	0.660	0.552	0.7234	0.519387±17	

Примечание. WR — порода в целом, Ap — апатит, Amp — амфибол, Gr — гранат, Pl — плагиоклаз, Ru — рутил, Sulf — сульфидные минералы. Среднее значение отношения ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd в стандарте La Jolla за период измерения составило 0.511835±18 (N=15)

вого метаморфизма, наложенного на анортозиты Кандалакшского массива. Кроме циркона был также изучен U-Pb-методом рутил из анортозитов (табл. 3) с целью установления возраста наложенных метаморфических событий, широко развитых в пределах района работ [4, 5]. Рутил в пробе представлен призматическими полупрозрачными кристаллами желтовато-бурого цвета. Для двух навесок рутила получен конкордантный U-Pb-возраст, равный (1700±10) млн лет (рис.1, б). По данным [14], температура закрытия U-Pb-системы рутила составляет 400–450 °С, следовательно, остывание массива до этих температур

произошло около 1.7 млрд лет назад.

Из метаанортозитов Кандалакшского массива (проба 225/1) для Sm-Nd-исследований были отобраны монофракции рутила, граната и плагиоклаза. Вместе с породой в целом на Sm-Nd-диаграмме они образуют изохронную зависимость, отвечающую возрасту (1886±37) млн лет (рис. 2, б), который интерпретируется временем высокотемпературного метасоматоза [6].

Для метаморфизованных лейкогаббро Кандалакшского массива (проба 183) по WR, апатиту, амфиболу и гранату получен новый Sm-Nd-возраст, равный (1692±71) млн лет

(рис. 2, в), близкий к U-Pb-возрасту рутила и фиксирующий, по-видимому, процессы остывания или низкотемпературных преобразований пород Кандалакшского массива на рубеже 1.7 млрд лет, когда происходила флюидная переработка пород при температурах не выше 450 °С [5].

Закключение

Полученные новые изотопно-геохронологические и геохимические U-Pb-и Sm-Nd-данные по массивам Кандалакшско-Колвицкого габбро-анортозитового комплекса позволяют предположить следующую последовательность геологических событий в регионе. Формирование габбро-анортозитовых массивов происходило на рубеже 2.45 млрд лет синхронно с наиболее масштабным проявлением второй-третьей фазы гигантского плюмового внутриконтинентального рифтогенеза в регионе [13]. Последующая эволюция массивов связана с их длительной структурно-метаморфической переработкой на протяжении почти 250 млн лет, в процессе которой породы массивов были подвержены метаморфизму двух этапов: ранних 2.23 млрд лет и более поздний 1.99 млрд лет. Возраст высокотемпературных метасоматических преобразований пород массивов — 1.89 млрд лет. Окончательное остывание массивов до температуры 400–450 °С, сопровождавшееся флюидной переработкой и метасоматическими преобразованиями, происходило на рубеже 1.7 млрд лет.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №№ 13-05-00493, 13-05-12055 офи-м, 15-35-20501 мол а вед, программы Президиума РАН № 5, IGCP-SIDA 599.

Авторы выражают благодарность академику Российской академии наук Ф. П. Митрофанову за постановку научной проблемы.

Таблица 3

Изотопные U-Pb-данные для рутила из анортозитов Кандалакшского массива (проба 225/1)

Table 3

Isotope U-Pb-data for rutile from anorthosite of Kandalakshsky massif (sample 225/1)

Проба №	Навеска (мг)	Содержание, ppm		Изотопный состав свинца *			Изотопные отношения и возраст, млн лет **			Rho
		Pb	U	²⁰⁶ Pb / ²⁰⁴ Pb	²⁰⁶ Pb / ²⁰⁷ Pb	²⁰⁶ Pb / ²⁰⁸ Pb	²⁰⁷ Pb / ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb / ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb / ²⁰⁶ Pb	
1	2.9	5.1	13.8	285	6.5732	5.4897	4.35542	0.303213	1700	0.81
2	2.9	5.0	13.8	341	6.8263	5.6873	4.46106	0.303646	1741	0.81

*Все отношения скорректированы на холостое загрязнение 0.08 нг для Pb и 0.04 нг для U и масс-дискриминацию (0.12±0.04) %.

**Коррекция на примесь обыкновенного свинца определена на возраст по модели [15].

Литература

1. Балаганский В. В., Тиммерман М. Я., Кислицын Р. В., Дэйли Дж.С., Балашов Ю. А., Ганнибал Л. Ф., Шерстенникова О. Г. Изотопный возраст пород Колвицкого и Умбинского блоков (юго-восточная ветвь Лапландского гранулитового пояса), Кольский полуостров // Вестник МГТУ. 1998. Т. 1. № 3. С. 19–32.
2. Баянова Т. Б. Возраст реперных геологических комплексов Кольского региона и длительность процессов магматизма. СПб.: Наука, 2004. 174 с.
3. Баянова Т. Б., Корфу Ф., Тодт В., Поллер У., Левкович Н. В., Апанасевич Е. А., Жавков В. А. Гетерогенность стандартов 91500 и TEMORA-1 для U-Pb-датирования единичных цирконов // XVIII Симпозиум по геохимии изотопов им. акад. А. П. Виноградова: Тез. докл. ГЕОХИ. 14–16 ноября 2007. Москва. С. 42–43.
4. Бибикова Е. В., Богданова С. В., Глебовицкий В. А., Клаиссон С., Шельд Т. Этапы эволюции Беломорского подвижного пояса по данным U-Pb-цирконовой геохронологии (ионный микрозонд NORDSIM) // Петрология. 2004. Т. 12. № 3. С. 227–244.
5. Каулина Т. В. Образование и преобразование циркона в полиметаморфических комплексах // Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН. 2010. 144 с.
6. Лебедева Ю. М., Глебовицкий В. А., Бушмин С. А., Богомолов Е. С., Савва Е. В., Лохов К. И. Возраст высокobarического метасоматоза в зонах сдвиговых деформаций при коллизионном метаморфизме в Лапландском гранулитовом поясе: Sm-Nd-метод датирования парагенезисов из силлиманит-ортопироксеновых пород Порьегубского покрова // Доклады Академии наук. 2010. Т. 432. № 1. С. 99–102.
7. Митрофанов Ф. П., Балаганский В. В., Балашов Ю. А., Ганнибал Л. Ф., Докучаева В. С., Нерович Л. И., Радченко М. К., Рюнгенен Г. И. U-Pb-возраст габбро-анортозитов Кольского полуострова // Доклады Академии наук. 1993. том 331. № 1.
8. Пожиленко В. И., Гавриленко Б. В., Жиров Д. В., Жабин С. В. Геология рудных районов Мурманской области. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. 359 с.
9. Ранний докембрий Балтийского щита / Ред. В. А. Глебовицкий. СПб.: Наука, 2005. 711 с.
10. Серов П. А., Екимова Н. А., Баянова Т. Б., Митрофанов Ф. П. Сульфидные минералы – новые геохронометры при Sm-Nd-датировании рудогенеза расслоенных мафит-ультрамафитовых интрузий Балтийского щита // Литосфера. 2014. № 4. С. 11–21.
11. Фриш Т., Джексон Г., Глебовицкий В. А., и др. U-Pb-геохронология циркона Колвицкого габбро-анортозитового комплекса, Южная часть Кольского полуострова, Россия // Петрология. 1995. Т. 3. № 3. С. 248–254.
12. Чащин В. В., Петров С. В. Малосульфидные платиновые руды Волчьегундровского массива габбро-анортозитов (Кольский полуостров, Россия) // Геология рудных месторождений. 2013. Т. 55. № 5. – С. 415–442.
13. Bayanova T., Ludden J. & Mitrofanov F. Timing and duration of Palaeoproterozoic events producing ore-bearing layered intrusions of the Baltic Shield: metallogenic, petrological and geodynamic implications / In: Reddy S.M., Mazumder R., Evans D.A.D. & Collins A.S. (eds) // Palaeoproterozoic Supercontinents and Global Evolution. Geological Society, London, Special Publications, 2009. N. 323. P. 165–198.
14. Mezger K., Hanson G. N., Bohlen S.R. High-precision U-Pb ages of metamorphic rutile: application to the cooling history of high-grade terranes // Earth and Planetary Sci. Lett. 1989. Vol. 96. P. 106–118.
15. Stacey J. S. and Kramers J. D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model // Earth and Planet. Sci. Lett. 1975. Vol. 26, № 2. P. 207–221.
16. Steshenko E., Bayanova T., Serov P. New data for paleoproterozoic PGE-bearing anorthosite of Kandalaksha massif (Baltic shield): U-Pb and Sm-Nd ages // Geophysical Research Abstracts. Vol. 17. EGU2015-501. EGU General Assembly 2015.
17. luostrov (Isotope age of Kolvinsky and Umbinsky block (south-eastern branch of Laplandsky granulite belt), Kola peninsula. Vestnik MGTU, 1998, V. 1, No. 3, pp. 19–32.
18. Bayanova T.B. *Vozrast repornykh geologicheskikh kompleksov Kolskogo regiona i dlitel'nost protsessov magmatizma* (Age of reference geological complexes of Kola region and duration of magmatism). Saint-Petersburg, Nauka, 2004, 174 pp.
19. Bayanova T. B., Korfu F., Todt V., Poller U., Levkovich N. V., Apanasevich E. A., Zhavkov V. A. *Geterogennost standartov 91500 i TEMORA-1 dlya U-Pb datirovaniya edinichnykh tsirkonov* (Heterogeneity of 91500 and TEMORA-1 standards for U-Pb dating of single zircons). XVIII simpozium po geohimii izotopov im. akad. A.P.Vinogradova: Proceedings, 2007, Moscow, pp. 42–43.
20. Bibikova E. V., Bogdanova S. V., Glebovitskii V. A., Klaisson S., Scheld T. *Etapy evolyuschii Belomorskogo podvizhnogo poyasa po donnym U-Pb tsirkonovoi geohronologii (ionnyi mikrozonnd NORDSIM)* (Stages of evolution of Belomorsky mobile belt according to U-Pb zircon geochronology (ion microprobe NORDSIM)). Petrologiya, 2004, V.12, No. 3, pp. 227–244.
21. Kaulina T. V. *Obrazovanie i preobrazovanie tsirkona v polimetamorficheskikh kompleksah* (Formation and transformation of zircon in polymetamorphic complexes). Apatity, Kola science center RAS, 2010, 144 pp.
22. Lebedeva Yu. M., Glebovitskii V. A., Bushmin S. A., Bogomolov E. S., Savva E. V., Lohov K. I. *Vozrast vysokobaricheskogo metasomatoza v zonah sdvigovykh deformatsii pri kollizionnom metamorfizme v Laplandskom granulitovom poyase: Sm-Nd-metod datirovaniya paragenezisov iz sillimanit-ortopiroksenovykh porod Por'egubskogo pokrova* (Age of high baric metasomatoses in the zones of shear deformation at collision metamorphism in Laplandsky granulite belt: Sm-Nd dating of parageneses from sillimanite-orthopyroxene rocks of Peregubsky cover). Doklady Akademii nauk, 2010, V. 432, No. 1, pp. 99–102.
23. Mitrofanov F. P., Balaganskii V. V., Balashov Yu. A., Gannibal L. F., Dokuchaeva V. S., Nерович L. I., Radchenko M. K., Ryungenen G. I. *U-Pb-vozrast gabbro-anortozitov Kolskogo poluostrova* (U-Pb age of gabbro-anorthosite of Kola peninsula). Doklady Akademii Nauk, 1993, V. 331, No.1.

References

1. Balaganskii V.V., Timmerman M.Ya., Kislitsyn R.V., Deili Dzh.S., Balashov Yu.A., Gannibal L.F., Sherstennikova O.G. *Izotopnyi vozrast porod Kolvitskogo i Umbinskogo blokov (yugo-vostochnaya vetiv' Laplandskogo granulitovogo poyasa), Kol'skii po-*

8. Pozhilenko V. I., Gavrilenko B. V., Zhiron D. V., Zhabin S. V. *Geologiya rudnykh raionov Murmanskoi oblasti* (Geology of ore regions of Murmansk region). Apatity, Kola Science center RAS, 2002, 359 pp.
9. *Rannii dokembrii Baltiiskogo schita* (Early Precambrian Baltic shield). Editor V. A. Glebovitsky. Saint-Petersburg, Nauka, 2005, 711 pp.
10. Serov P. A., Ekimova N. A., Bayanova T. B., Mitrofanov F. P. *Sulfidnye mineraly - novye geokhronometry pri Sm-Nd datirovanii rudogeneza rassloennykh mafit-ultramafitovykh intruzii Baltiiskogo schita* (Sulfide minerals – new geochronometers at Sm-Nd dating of ore genesis of laminated ultramafic intrusions of Baltic shield). *Litosfera*, 2014, No. 4, pp. 11–21.
11. Frish T., Dzhekson G., Glebovitskii V. A., et al. *U-Pb-geokhronologiya tsirkona Kolvitskogo gabbro-anortozitovogo kompleksa, Yuzhnaya chast Kolskogo poluostrova, Rossiya* (U-Pb-geochronology of zircon of Kolvitsky gabbro-anorthosite complex, southern part of Kola peninsula). *Petrologiya*, 1995, V.3, No. 3, pp.248–254.
12. Chaschin V. V., Petrov S. V. *Malosulfidnye platinovye rudy Volchetundrovskogo massiva gabbro-anortozitov (Kolskii poluostrov, Rossiya)* (Low sulfide ores of Volchetundrovsky gabbro-anorthosite massif). *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*, 2013, V.55, No. 5, pp.415–442.
13. Bayanova T., Ludden J. & Mitrofanov F. Timing and duration of Palaeoproterozoic events producing ore-bearing layered intrusions of the Baltic Shield: metallogenic, petrological and geodynamic implications / In: Reddy S.M., Mazumder R., Evans D.A.D. & Collins A.S. (eds), *Palaeoproterozoic Supercontinents and Global Evolution*. Geological Society, London, Special Publications, 2009, No. 323, pp. 165–198.
14. Mezger K., Hanson G. N., Bohlen S. R. High-precision U-Pb ages of metamorphic rutile: application to the cooling history of high-grade terranes. *Earth and Planetary Sci. Lett.* 1989. Vol. 96, pp. 106–118.
15. Stacey J.S. and Kramers J.D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth and Planet. Sci. Lett.* 1975. Vol. 26, No. 2, pp. 207–221.
16. Steshenko E., Bayanova T., Serov P. New data for paleoproterozoic PGE-bearing anorthosite of Kandalaksha massif (Baltic shield): U-Pb and Sm-Nd ages. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 17, EGU2015-501. EGU General Assembly 2015.

Рецензент к. г.- м. н.
К. В. Куликова