

## Sm-Nd ИЗОТОПНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАННЕДОКЕМБРИЙСКИХ ПОРОД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КОЛЬСКОГО РЕГИОНА: НОВЫЕ ДАННЫЕ\*

В. И. Пожиленко, П. А. Серов

ФГБУН Геологический институт КНЦ РАН

### Аннотация

Приводятся результаты Sm-Nd анализа мезонеоархейских и палеопротерозойских метаморфических и интрузивных пород ряда структур центральной части Кольского региона: а) Оленегорского блока Кольско-Норвежского террейна; б) Затуломского блока террейна Инари; в) Нотозёрского и Нявкинского блоков и Ёнского сегмента Беломорского составного террейна; г) Приимандровского тектонического меланжа, расположенного в пограничной зоне между Кольским и Беломорским составными террейнами.

### Ключевые слова:

*Sm-Nd модельный возраст, архей, палеопротерозой, террейн, Кольский регион.*

## Sm-Nd ISOTOPE STUDIES OF EARLY PRECAMBRIAN ROCKS OF THE CENTRAL PART OF THE KOLA REGION: NEW DATA

V. I. Pozhilenko, P. A. Serov

Geological Institute of the KSC of the RAS

### Abstract

In the paper, the results of Sm-Nd analysis of Mesoarchean, Neoarchean and Paleoproterozoic metamorphic and intrusive rocks of several structures of the central part of the Kola region are presented: a) Olenegorsk block of the Kola-Norwegian terrane; b) Zatuloma block of the Inari terrane; c) Notozero and Nyavka blocks and Ena segment of the Belomorian composite terrane; d) Priimandrofsky tectonic mélangé, located in the border zone between the Kola and Belomorian composite terranes.

### Keywords:

*Sm-Nd model age, Archaean, Palaeoproterozoic, terrane, Kola region.*



### Введение

Начиная с 2000 г. в лаборатории геохронологии и изотопной геохимии Геологического института КНЦ РАН стали проводиться планомерные Sm-Nd изотопные исследования, что привело к накоплению большого объема Sm-Nd изотопных данных по метаморфическим и интрузивным породам раннего докембрия Кольского региона. Эти исследования преследовали следующие цели:

1) выявление в кольском архее мезо-, палео- и эоархейских пород; 2) определение объема архейского и палеопротерозойского ювенильного материала в земной коре региона; 3) установление особенностей развития структур региона.

Известно, что эффективным инструментом оценки возраста земной коры является Sm-Nd изотопный метод, позволяющий на основе Sm-Nd модельных возрастов пород в сочетании с U-Pb датированием циркона определить возраст корообразующих событий [1–2]. Первые результаты применения этого методического подхода сотрудниками Дублинского университетского колледжа в содружестве с учеными ГИ КНЦ РАН внесли заметные коррективы в представления о времени образования древнейших ТТГ комплексов основания кольского докембрия и залегающих на них супракrustальных комплексах архея и палеопротерозоя [3–6, и др.].

\* Исследование выполнено в рамках тем НИР ГИ КНЦ РАН № 0231–2015–0004 и 0231–2015–0005.

В работе [7] выборочно были рассмотрены в кратком и обобщенном виде ранее опубликованные результаты Sm-Nd изотопных исследований раннедокембрийских пород Кольского региона и их интерпретация по литературным источникам. Кроме того, была приведена и рассмотрена часть неопубликованных Sm-Nd-данных (с сопутствующей интерпретацией), полученных в лаборатории геохронологии и изотопной геохимии ГИ КНЦ РАН, по мезо-неоархейским и палеопротерозойским кристаллическим породам ряда структур Кольского региона: Терского, Стрельнинского и Кейвского террейнов, Кольско-Норвежского и Мурманского составных террейнов и Имандра-Варзугской зоны палеопротерозойского рифта. Основные выводы приводятся ниже.

Значения Sm-Nd модельного возраста наиболее древних пород раннего докембрия Кольского региона в большинстве своем не превышают 3,1 млрд лет. Это означает, что палеоархейские и эоархейские образования в скольких-нибудь значимых объемах либо не обнажены на современной эрозионной поверхности и могут залегать на более глубинных уровнях земной коры, либо вообще отсутствуют на изученных территориях. И только Sm-Nd модельные возрасты метапелитов Кейвского террейна 3,0–3,5 млрд лет свидетельствуют о значительном вкладе привнесенного вещества из мезопалеоархейских источников.

Довольно часто отмечается большой разрыв между Sm-Nd модельными возрастными ( $t_{DM}$ ) и U-Pb-возрастами неоархейских (до 200 млн лет) и палеопротерозойских (до 500 млн лет) интрузивных пород. В первом случае это свидетельствует об отсутствии или незначительном вкладе в эти породы материала из палеоархейских и тем более эоархейских источников, а во втором — о значительном вкладе в палеопротерозойские породы вещества из архейского фундамента.

Согласно приведенным в статье [7] Sm-Nd изотопным данным и U-Pb возрасту циркона, породы кондалитового комплекса Лапландского и Умбинского гранулитовых террейнов, сергозерской и частично песчаноозерской толщ и комплекса основания (здесь и далее все названия местных стратиграфических подразделений приводятся в соответствии с [8–9]) Терского террейна, а также каскамской и тальинской толщ террейна Инари имеют палеопротерозойский Sm-Nd модельный возраст и представляют собой продукты новообразованной палеопротерозойской ювенильной коры.

В предлагаемой работе приводятся новые данные Sm-Nd изотопных исследований раннедокембрийских интрузивных и метаморфических пород (табл. 1–3) ряда тектонических структур центральной части Кольского региона (рис. 1–5) и наиболее вероятная интерпретация этих данных.

### Методика исследований

Для химического разложения проб брали навеску породы 50–100 мг, к которой добавлялось 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 помещали в тefлоновый вкладыш автоклава и проводили разложение в сушильном шкафу при температуре 170 °С в течение нескольких часов. После разложения выпаривали досуха HF и образовавшиеся фториды переводили в хлориды путем упаривания образца 2–3 раза в 4,5–6N HCl. Сухой остаток растворяли в 1 мл 2,3N 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 4,5N HCl. Выделенную фракцию РЗЭ выпаривали досуха, растворяли в 0,1N HCl и загружали на вторую колонку с ионитом HDEHP на твердом носителе KEL-F. Отобранные фракции Sm и Nd выпаривали, после чего они были готовы для последующего масс-спектрометрического анализа.

Среднее значение отношения  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  в стандарте LaJolla за период измерений составило  $0,512078 \pm 5$  ( $N = 11$ ), при этом величина ошибки не превышала  $\pm 0,003$  %. Ошибка в  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  отношениях составляет 0,2 % ( $2\sigma$ ) — среднее значение из 7 измерений в стандарте BCR-1 [10]. Погрешность измерения изотопного состава Nd в индивидуальном анализе — до 0,013 %. Холостое внутрилабораторное загрязнение по Nd равно 0,3 нг, по Sm — 0,06 нг. Точность определения концентраций Sm и Nd  $\pm 0,5$  %. Изотопные отношения были нормализованы по отношению  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,7219$ , а затем пересчитаны на отношение  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  в стандарте LaJolla =  $0,511858 \pm 7$  [11]. При расчете величин  $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$  и модельных возрастов  $T_{(\text{DM})}$  использованы современные значения CHUR по [12] ( $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,512630$ ,  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0,1960$ ) и DM по [13] ( $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,513151$ ,  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0,2136$ ).

## Материалы

Sm и Nd изотопный анализ был выполнен для широкого спектра кристаллических (метаморфических и интрузивных) пород разных структур центральной части Кольского региона:

- Оленегорского блока Кольско-Норвежского террейна;
- Затуломского блока террейна Инари;
- Нотозёрского и Нявкинского блоков и Ёнского сегмента Беломорского составного террейна;
- Приимандровского (района) тектонического меланжа палеопротерозойских и неоархейских структур, расположенных в пограничной зоне между Беломорским и Кольским составными террейнами (рис. 1).

Всего проанализировано 89 проб (с учетом дубликатов) (табл. 1–3 со сквозными порядковыми номерами). Расположение точек отбора проанализированных проб отражено на рис. 2–4.

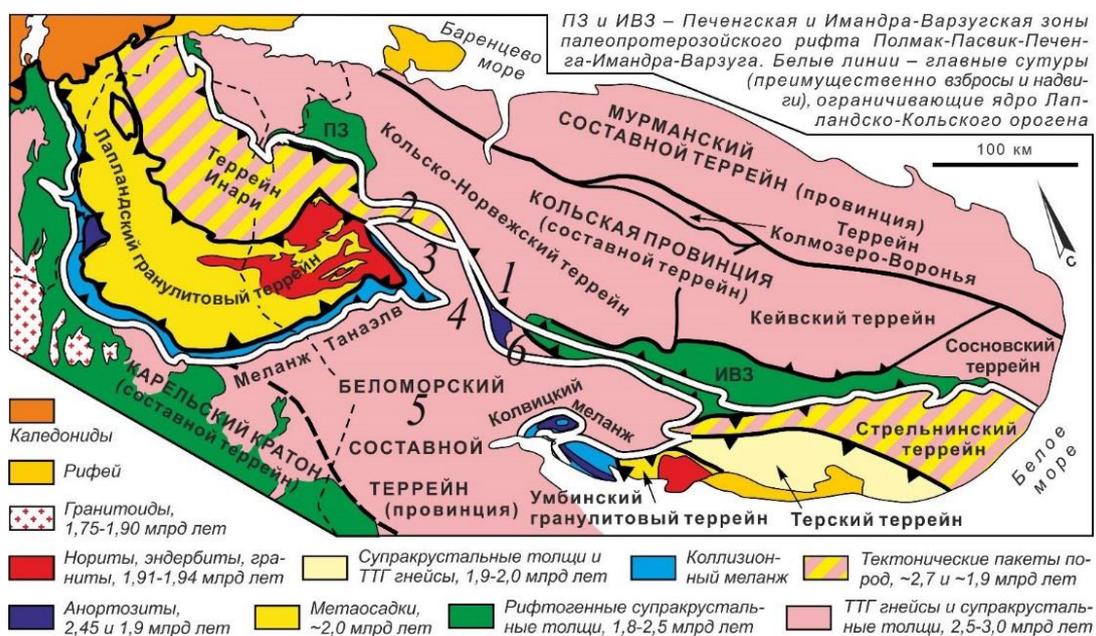


Рис. 1. Положение районов отбора проб на схеме тектонического районирования северо-восточной части Балтийского щита по В. В. Балаганскому [14] с учетом данных по проекту FIRE 2001–2005 [15].

Цифры на схеме соответствуют районам отбора проб:

- Оленегорский блок Кольско-Норвежского террейна;
- Затуломский блок террейна Инари;
- Нотозёрский блок Беломорского составного террейна;
- Нявкинский блок Беломорского составного террейна;
- Ёнский сегмент Беломорского составного террейна;
- Приимандровский район (тектонический меланж)

Fig. 1. Sample areas on the scheme of tectonic zoning of the north-eastern part of the Baltic Shield (By Viktor V. Balagansky [14] with the project data FIRE 2001–2005 [15]). Sample areas:

- Olenegorsk block of the Kola-Norway terrane;
- Zatuloma block of the Inary terrane;
- Notozero block of the Belomorsky terrane;
- Nyavka block of the Belomorsky terrane;
- Ena segment of the Belomorsky terrane;
- Imandra region (tectonic melange)

**Результаты****Оленегорский блок Кольско-Норвежского составного террейна**

Проанализировано 11 проб (в том числе 3 дубликата) (рис. 2, табл. 1). Sm-Nd модельный возраст пород варьирует от 2643 до 3209 млн лет при положительных значениях  $\epsilon_{Nd}(T)$  от +0,6 до +4,6. Для кианит-гранат-биотитовых гнейсов волшпахкской толщи нестратифицированного супракрустального комплекса (табл. 1, № 1–2) района оз. В. Волчье получен Sm-Nd модельный возраст 2906 млн лет и  $\epsilon_{Nd}(T)$  +4,6. Для циркона в гнейсах получен U-Pb-возраст 2800–2830 млн лет (определение Т. В. Каулиной). Гнейсы секутся деформированными в складки пегматоидными плагиогранитами (табл. 1, № 3–4), Sm-Nd модельный возраст которых составил 2643 млн лет при  $\epsilon_{Nd}$ , равном +1,6. Предварительный U-Pb-возраст плагиогранитов —  $2597 \pm 6$  млн лет (определение Т. В. Каулиной).

Таблица 1

Table 1

Sm-Nd изотопные данные для пород центральной части Кольского региона (образцы В. И. Пожиленко)  
Sm-Nd isotopic data for Kola Region rocks (samples from Vladimir I. Pozhilenko)

№ п/п	Номер образца Sample	Порода Rock type	Sm, ppm	Nd, ppm	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$T_{(DM)}$ , млн лет $T_{(DM)}$ , mln. year	$\epsilon_{Nd}(T)$ ( $T$ , млн лет) $\epsilon_{Nd}(T)$ ( $T$ , mln. year)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Оленегорский блок Кольско-Норвежского террейна Olenegorsk block of the Kola-Norway terrane								
1	914-6-1	Ки-Гр-Би гнейс Ky-Grt-Bt gneiss	2,31	13,62	0,1024	$0,511116 \pm 30$	2773	+4,6 (2830)
2	914-6-1*	Ки-Гр-Би гнейс Ky-Grt-Bt gneiss	2,35	14,11	0,1005	0,510981	2906	+2,6 (2830)
3	914-6-2	Плагиогранит Plagiogranite	1,150	6,44	0,1080	$0,511310 \pm 19$	2643	+1,6 (2420)
4	914-6-2*	Плагиогранит Plagiogranite	1,070	5,99	0,1080	$0,511310 \pm 19$	2643	+1,6 (2420)
5	KG-96-1	Лептит Leptite	1,816	10,56	0,1040	$0,511017 \pm 19$	2949	+1,0 (2740)
6	KG-96-8	Долерит Dolerite	3,17	16,53	0,1159	$0,5112621 \pm 4$	2928	+1,6 (2740)
7	KG-98-2	Железистый кварцит Fe-quartzite	0,241	1,132	0,1287	$0,511444 \pm 17$	3044	+0,6 (2740)
8	KG-96-3	Пл-Микр пегматит Pl-Mc pegmatite	2,44	8,20	0,1796	$0,512464 \pm 24$	3059	—
9	БМ-96-4	Амфиболит Amphibolite	2,40	7,93	0,1826	$0,512478 \pm 23$	3285	—
10	П-96-1	Тоналитогнейс Tonalitic gneiss	2,65	12,83	0,1250	$0,511272 \pm 33$	3209	-1,5 (2740)
11	П-96-1*	Тоналитогнейс Tonalitic gneiss	2,62	12,96	0,1222	0,511326	3023	+0,6 (2740)
Затуломский блок Беломорского террейна Zatuloma block of the Inary terrane								
12	1465	Би-Гр-Амф гнейс Bi-Grt-Amp gneisses	4,46	26,9	0,1003	$0,5089786 \pm 5$	5659?	—
13	1465*	Би-Гр-Амф гнейс Bi-Grt-Amp gneisses	4,12	26,0	0,0958	0,510983	2789	+3,4 (2750)
14	1356	Амфиболит Amphibolite	1,023	4,77	0,1297	$0,511898 \pm 41$	2267	+2,6 (1980)
15	1354	Гр-амфиболит Grt-amphibolite	7,64	45,6	0,1014	$0,511271 \pm 29$	2541	-2,5 (1980)
16	1335	Амфиболит Amphibolite	2,71	9,23	0,1776	$0,512601 \pm 28$	2319	—

Окончание таблицы 1  
Table 1 (Continued)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Нотозёрский блок Беломорского террейна Notozero block of the Belomorian terrane								
17	1167	Тоналитогнейс Tonalitic gneiss	5,00	35,1	0,0860	0,510723 ± 13	2883	+1,8 (2750 <sup>2*</sup> )
18	1401	Амф-Би гнейс Amp-Bt gneiss	3,28	21,8	0,0908	0,510684 ± 16	3042	-0,7 (2750 <sup>2*</sup> )
19	1321	Би-Мус гнейс Bt-Ms gneiss	3,59	20,3	0,1067	0,511057 ± 11	2967	+0,9 (2750 <sup>2*</sup> )
20	1321*	Би-Мус гнейс Bt-Ms gneiss	4,01	22,5	0,1080	0,511064	2993	+0,6 (2750 <sup>2*</sup> )
21	1378	Амф-Би гнейс Amp-Bt gneiss	11,63	52,1	0,1349	0,511347 ± 32	3466	-3,4 (2750 <sup>2*</sup> )
22	1378*	Амф-Би гнейс Amp-Bt gneiss	1,917	10,82	0,1070	0,511116	2892	+2,0 (2750 <sup>2*</sup> )
23	1378*	Амф-Би гнейс Amp-Bt gneiss	1,914	10,66	0,1085	0,511177	2846	+2,6 (2750 <sup>2*</sup> )
24	1379	Амфиболит Amphibolite	5,57	28,6	0,1178	0,511229 ± 6	3038	+0,4 (2750 <sup>2*</sup> )
25	1394	Амф-Би гнейс Amp-Bt gneiss	2,48	15,94	0,0942	0,510711 ± 14	3094	-1,4 (2750 <sup>2*</sup> )
26	1396	Амф-Би гнейс Amp-Bt gneiss	0,825	4,56	0,1093	0,511107 ± 30	2968	+1,0 (2750 <sup>2*</sup> )
27	1397	Амфиболит Amphibolite	11,55	51,7	0,1352	0,511597 ± 22	3002	+1,4 (2750 <sup>2*</sup> )
28	1399-5	Габбро-анортозит Gabbro-anorthosite	3,25	14,84	0,1323	0,511677 ± 16	2748	+1,9 (2500)
29	1234	Метадиорит Metadiorite	6,11	30,6	0,1208	0,511319 ± 24	2990	-1,4 (2500)
30	1479	Метадиорит Metadiorite	6,04	29,02	0,1259	0,511410 ± 20	3006	-1,3 (2500)
31	1250-10	Метадиорит Metadiorite	3,81	19,65	0,1171	0,511251 ± 21	2982	-1,5 (2500)

Примечания: 1. Под номерами 1–11 — Оленегорский блок: р-н оз. Верхнее Волчье (1–4), Кировогорский карьер (5–8), Бауманский карьер (9), р-н Печ-Губы оз. Большая Имандра (10–11); 12–16 — Загуломский блок: р-н оз. Еч-озеро (12–13), р-н оз. Вийм-ярв (14–15), р-н г. Кеулик (16); 17–31 — Нотозерский блок: ур. Голая Тундра (17), г. Пейдас-варака (18), р-н оз. Лоттен, р. Печа (19–20), р-н оз. Пур-ярви (21–23), г. Печа (24), г. Пейдас-варака (25), г. Подас-уайв (26–27), массив Гирвас (28), массив Анис-тундра (29–31).

2. Здесь и в табл. 2: Амф — амфибол; Би — биотит; Гр — гранат; Ки — кианит; Мус — мусковит.

3. Здесь и в табл. 2 и 3: <sup>2\*</sup> — предполагаемый возраст пород или метаморфизма; \* — дубликаты проб.

Notes: 1. Samples: 1–11 — Olenegorsk block: Verhnee Volchie lake (1–4), Kirovogorsky mine (5–8), Bauman mine (9), Imandra (Pech-Guba) (10–11); 12–16 — Zatuloma block: Echozero (12–13), Viymyavr (14–15), Keulic mount (16); 17–31 — Notozero block: Golaya Tundra (17), Peidas-Varaka mount (18), Lotten lake, Pecha river (19–20), Pur-Yarvi lake (21–23), Pecha mount (24), Peidas-Varaka mount (25), Podas-Uayv mount (26–27), Girvas massif (28), Anis-Tundra massif (29–31).

2. Here and in the Table 2: Amp — amphibole; Bi — biotite, Ky — kyanite, Grt — garnet, Ms — muscovite.

3. Here and in the Tables 2, 3: \* — duplicates; <sup>2\*</sup> — estimated ages.

Sm-Nd модельные возрасты железистых кварцитов, лептитов, амфиболитов и секущих их даек долеритов и жил плагиомикроклиновых гранитов (табл. 1, № 5–9) из Кировогорского и Бауманского карьеров находятся в интервале 2928–3285 млн лет при значениях  $\epsilon_{Nd}$ , рассчитанных на U-Pb-возраст 2740 млн лет по [16], от +0,6 до +1,6. Sm-Nd модельный возраст тоналито-гнейсов (проба и дубликат — табл. 1, № 10–11) из района Печ-Губы — 3023–3209 млн лет,  $\epsilon_{Nd}$  варьирует от +0,6 до -1,5.

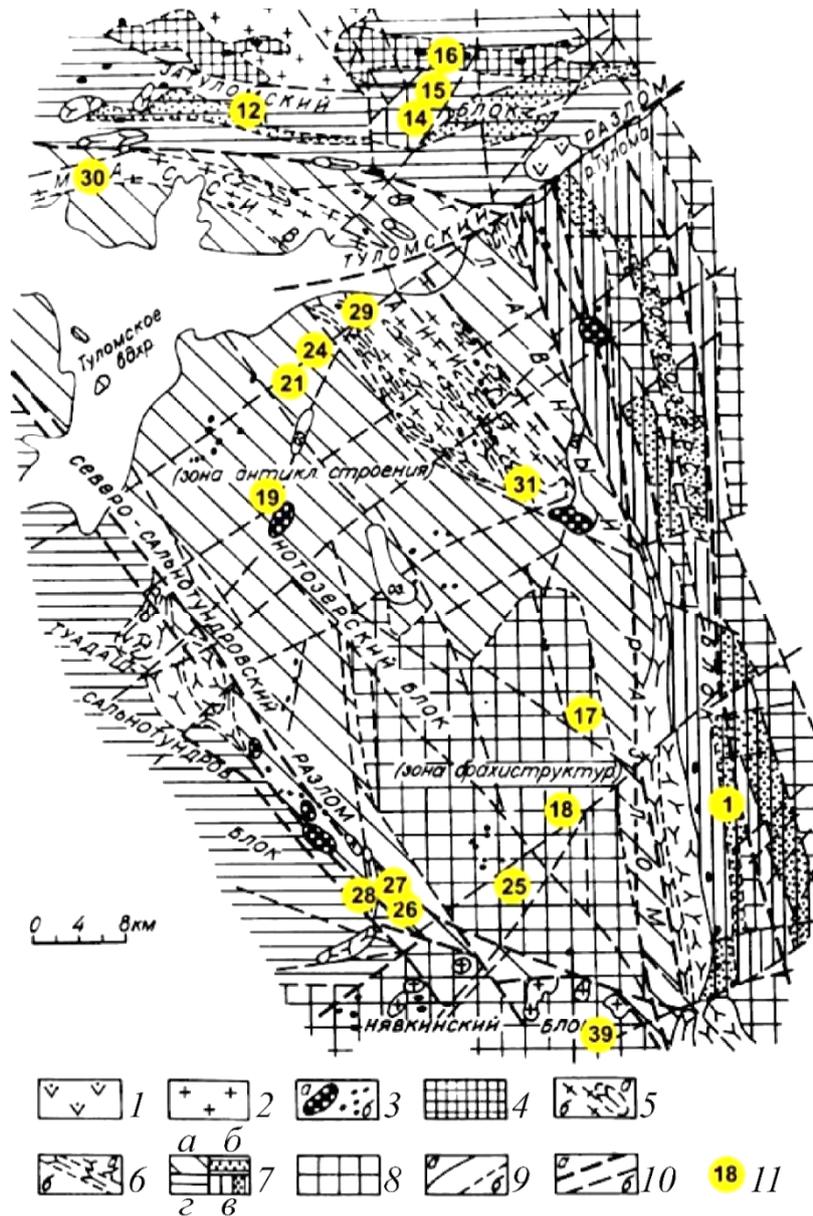


Рис. 2. Расположение точек отбора проб на схеме геологического строения Нотозерского района по [18, рис. 3]:  
 1 — палеозойский массив ультраосновных щелочных пород Сейблявр; 2 — палеопротерозойские граниты Лицко-Арагубского комплекса; 3 — массивы и мелкие тела палеопротерозойских базит-гипербазитов; 4 — сланцеватые амфиболиты палеопротерозойской свиты кеулик; 5 — габбро-диориты (а), диориты и диоритогнейсы (б) массива Анис; 6 — габбро-анортозиты палеопротерозойского массива Главного хребта массивные (а) и рассланцованные (б); 7 — комплексы неоархейских амфиболитов, гнейсов и мигматитов (а, б, в) и палеопротерозойских гранулитов (г); 8 — граниты, гранитогнейсы, гнейсы и мигматиты комплекса основания по [8]; 9 — геологические границы установленные (а) и предполагаемые (б); 10 — разрывные нарушения крупные (а) и мелкие (б); 11 — точки отбора проб с номерами в кружочках, соответствующими номерам в табл. 1

Fig. 2. Sample areas on the geological scheme of Notozero area [18, fig. 3]:  
 1 — paleozoic Sebylavr ultramafic alkaline massif; 2 — Proterozoic granites of Litzko-Aragubsky complex; 3 — massifs and small bodies of Palaeoproterozoic basites-hyperbasites; 4 — amphibolites of Palaeoproterozoic Keulik formation; 5 — gabbro-diorites (a), diorites and diorite-gneisses (b) of Anis massif; 6 — gabbro-anorthosites of Palaeoproterozoic Main Ridge massif, rugged (a), slated (b); 7 — Neoarchaeal complexes of amphibolites, gneisses, migmatites (a, b, c) and Palaeoproterozoic granulites (d); 8 — granites, granite-gneisses, gneisses and migmatites of basement complex from [8]; 9 — geological borders determined (a) and estimated (b); 10 — discontinuous big (a) and small (b); 11 — samples (see Table 1)

### Затуломский блок террейна Инари

В Затуломском блоке проанализировано 5 проб (рис. 2, табл. 1). Sm-Nd модельный возраст биотит-гранат-амфиболовых гнейсов волшпахкской толщи неоархейского нестратифицированного комплекса района оз. Еч-озеро (табл. 1, № 13) составляет 2789 млн лет, а величина  $\epsilon_{Nd}$ , рассчитанная на предполагаемый U-Pb-возраст 2740 млн лет, равна +3,4. Сланцеватые амфиболиты (табл. 1, № 16) палеопротерозойской толщи кеулик-кенирим с U-Pb-возрастом  $1982 \pm 12$  млн лет [17] имеют Sm-Nd модельный возраст 2319 млн лет. Амфиболиты (табл. 1, № 14–15) района оз. Вийм-явр, которые расположены южнее палеопротерозойской толщи сланцеватых амфиболитов кеулик-кенирим имеют Sm-Nd модельный возраст 2267 и 2541 млн лет и значения  $\epsilon_{Nd}$  +2,6 и –2,5 соответственно. Поскольку эти породы, вероятно, палеопротерозойские, то, надо полагать, что в протолите гранатовых амфиболитов (табл. 1, № 15) присутствует более древняя коровая компонента.

### Нотозерский блок Беломорского составного террейна

Проанализировано 15 проб (в том числе 2 дубликата) (рис. 2, табл. 1, № 17–31). Исследованы неоархейские гнейсы и амфиболиты нестратифицированного комплекса, тоналито-гнейсы комплекса основания, палеопротерозойские метадiorиты массива Анис и палеопротерозойские габбро-анортозиты массива Гирвас, расположенные в восточном окончании Лапландского гранулитового пояса (ЛГП) в районе Сальных тундр [8].

Sm-Nd модельные возрасты неоархейских гнейсов и амфиболитов укладываются в интервал 2846–3094 млн лет, значения  $\epsilon_{Nd}$ , рассчитанные на предполагаемый U-Pb-возраст 2750 млн лет, варьируют (если исключить результаты анализа № 21) от –0,7 до +2,6 при преобладании положительных значений. Это может означать, что протолиты пород слабо контаминированы более древним коровым материалом и время образования их можно считать мезоархейским. Sm-Nd модельный возраст габбро-анортозитов массива Гирвас составляет 2748 млн лет (табл. 1, № 28),  $\epsilon_{Nd}$  равен +1,9, Sm-Nd модельный возраст диоритов массива Анис-тундра (табл. 1, № 29–31), предположительно сумийского возраста (2500 млн лет), равен 2982–3006 млн лет, величина  $\epsilon_{Nd}$  варьирует от –1,3 до –1,5.

### Нявкинский блок Беломорского составного террейна

Проанализировано 10 проб (в том числе 5 дубликатов) (рис. 3, табл. 2, № 32–41). Это неоархейские рассланцованные метадiorиты г. Круглой, эклогиты Нявка-тундры, амфиболиты Мал. Нял-тундры и Лива-тундры и амфибол-биотитовые гнейсы комплекса основания по [8–9].

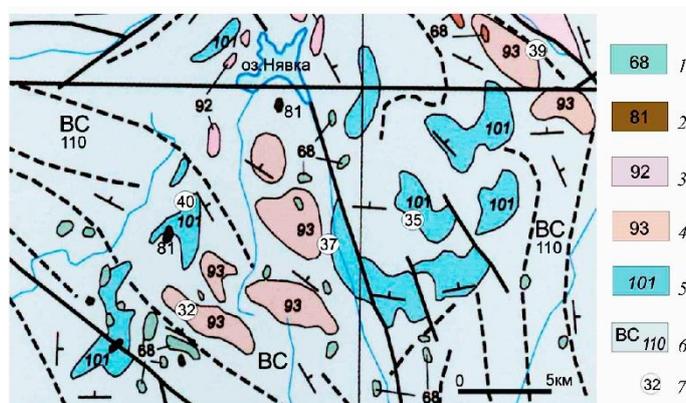


Рис. 3. Расположение точек отбора проб на фрагменте геологической карты [8] в районе Нявкинского блока. Номера на карте обозначены разновозрастные и разные по составу кристаллические породы: 1 — палеопротерозойские друзиты; 2 — габбро-амфиболиты неясного возраста; 3–6 — неоархейские образования: гранодиориты и граниты (3), диориты (4), гнейсы и амфиболиты ёнского комплекса (5), гранито-гнейсы, гнейсы и мигматиты комплекса основания (6); 7 — точки отбора проб с номерами, соответствующими номерам в табл. 1

Fig. 3. Sample points on the geological scheme of Nyavka block [8], rocks:

1 — Palaeoproterozoic druses; 2 — gabbro-amphibolites with obscure age; 3–6 — Neoarchaeal rocks: granodiorites and granites (3), diorites (4), gneisses and amphibolites of Ena complex (5), granites, granite-gneisses, gneisses and migmatites of basement complex (6); 7 — sample points

Sm-Nd изотопные данные для пород центральной части Кольского региона  
(образцы В. И. Пожиленко)Sm-Nd isotopic data for rocks of central part of the Kola Region  
(samples from Vladimir I. Pozhilenko)

№ п/п	Номер образца Sample	Порода Rock type	Sm, ppm	Nd, ppm	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$T_{(\text{DM})}$ , млн лет $T_{(\text{DM})}$ , mln. year	$\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ ( $T$ , млн лет) ( $T$ , mln. year)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Нявкинский блок Беломорского террейна Nyavka block of the Belomorian terrane								
32	1681-12	Метадиорит Metadiorite	2,24	10,43	0,1297	0,510118 ± 67	5594?	-25,7 (2750 <sup>2σ</sup> )
33	1681-12*	Метадиорит Metadiorite	2,08	9,70	0,1297	0,510118 ± 67	5594?	-25,7 (2750 <sup>2σ</sup> )
34	1681-12*	Метадиорит Metadiorite	2,16	10,29	0,1267	0,511484	2906	+2,2 (2750 <sup>2σ</sup> )
35	1660	Эклогит Eclogite	4,66	20,73	0,1359	0,512064 ± 38	2125	+10,3 (2750 <sup>2σ</sup> )
36	1660*	Эклогит Eclogite	4,33	19,29	0,1359	0,512064 ± 38	2125	+10,3 (2750 <sup>2σ</sup> )
37	1672-6	Амфиболит Amphibolite	5,18	25,3	0,1237	0,511401 ± 18	2948	+1,6 (2750 <sup>2σ</sup> )
38	1672-6*	Амфиболит Amphibolite	4,82	23,6	0,1237	0,511401 ± 18	2948	+1,6 (2750 <sup>2σ</sup> )
39	1390-2	Амф-Би гнейс Amp-Bt gneiss	3,89	25,8	0,0911	0,510704 ± 33	3025	-0,4 (2750 <sup>2σ</sup> )
40	1677	Амфиболит Amphibolite	3,00	10,86	0,1672	0,512159 ± 45	3235	-
41	1677*	Амфиболит Amphibolite	2,79	10,10	0,1672	0,512159 ± 45	3235	-
Енский сегмент Беломорского террейна Ena segment of the Belomorian terrane								
42	242-4г	Эклогит Eclogite	1,509	4,63	0,1969	0,512895 ± 9	2327	-
43	192-19	Амф-Би гнейс Amp-Bt gneiss	1,778	11,28	0,0953	0,510935 ± 31	2838	+2,6 (2750 <sup>2σ</sup> )
44	9/91-23*	Амф-Би гнейс Amp-Bt gneiss	1,05	7,05	0,0898	0,510797 ± 12	2881	+2,1 (2778)
45	142-8-10	Метакоматиит Metakomatiite	1,644	6,84	0,1454	0,512050 ± 7	2449	-
46	142-8-10*	Метакоматиит Metakomatiite	1,530	6,36	0,1454	0,512050 ± 7	2449	-
47	332-3-1	Метакоматиит Metakomatiite	0,215	1,661	0,0781	0,512480 ± 37	-	-
48	424-2	Амф-Би гнейс Amp-Bt gneiss	5,96	19,85	0,1814	0,512450 ± 24	3294	-
49	424-2*	Амф-Би гнейс Amp-Bt gneiss	5,93	20,1	0,1779	0,512534	2620	-
50	109-1	Гр-Пл амфиболит Grt-Pl amphibolite	2,04	6,44	0,1910	0,512770 ± 21	2557	-
51	109-1*	Гр-Пл амфиболит Grt-Pl amphibolite	2,02	6,52	0,1872	0,512729	2425	-

Окончание таблицы 2  
Table 2 (Continued)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
52	П-10-1	Гр-Би-Амф гнейс Grt-Bi-Amp gneisses	2,96	14,81	0,1208	0,511390	2875	+2,6 (2770 <sup>2σ</sup> )
53	П-10-2	Амфиболит Amphibolite	2,04	7,16	0,1723	0,512367	2876	–
54	П-10-4	Гр-Би гнейс Grt-Bi gneisses	3,72	19,08	0,1177	0,511273	2966	+1,5 (2770 <sup>2σ</sup> )
55	306-6-1	Тоналитогнейс Tonalitic gneiss	5,88	38,1	0,0934	0,510887 ± 10	2854	+2,3 (2750 <sup>2σ</sup> )
56	411-3-2	Ки-Гр-Би гнейс Ky-Grt-Bt gneiss	3,14	14,80	0,1280	0,511517 ± 8	2892	+1,9 (2700 <sup>2σ</sup> )
57	411-3-2*	Ки-Гр-Би гнейс Ky-Grt-Bt gneiss	3,13	15,04	0,1257	0,511579	2711	+4,4 (2750 <sup>2σ</sup> )
58	305-7-1	Ки-Гр-Би гнейс Ky-Grt-Bt gneiss	3,86	24,8	0,0943	0,510922 ± 8	2831	+2,0(2700 <sup>2σ</sup> )

*Примечание.* Под номерами 32–41 — Нявкинской блок: г. Круглая (32–34), г. Нявка-Тундра (35–36), г. Мал. Нялтундра (37–38), р. Вайкис, высотная отметка 485,3 м (39), г. Лива-Тундра (40–41); 42–58 — Ёнский сегмент Беломорского террейна: г. Бабинская Имандра (42), к югу от оз. Ниж. Тикой (43), г. Черная (44), район г. Кюме-Тундра (45–46), к западу от оз. Сейто (47), район г. Перуселька (48–49), р-н. г. Кюме (50–51), район пос. Риколатва (52–53), г. Риколатва (54), верховье р. Ёна (55), район оз. Кулос (56–57), верховье р. Ёна (58).

*Note.* Samples 32–41 — Nyavka block: Kruglaya mount (32–34), Nyavka-Tundra (35–36), Malaya Nyaltundra (37–38), Vaikis river, alt. 485,3 m (39), Liva-Tundra mount (40–41); 42–58 — Ena segment of Belomorian terrane: Babinskays Imandra mount (42), to south from Tikoy lake (43), Chernaya mount (44), Kume-Tundra (45–46), to west from Seita lake (47), Peruselka mount (48–49), Kume mount (50–51), Rikolatva (52–53), Rikolatva mount (54), Ena river (up) (55), Kulos mount (56–57), Ena river (up) (58).

Sm-Nd модельные возрасты эклогита (табл. 2, № 35–36) Нявка-тундры явно занижены и не имеют геологического смысла. Высокие значения  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  (0,167) для амфиболитов (табл. 2, № 40–41) Лива-тундры не позволяют определить величину  $\epsilon_{\text{Nd}}$  и принимать Sm-Nd модельный возраст (3,2 млрд лет). Значимые Sm-Nd модельные возрасты 2,91–3,03 млрд лет определены для метадiorитов, амфиболитов и гнейсов при положительных значениях  $\epsilon_{\text{Nd}}$ .

### Ёнский сегмент Беломорского составного террейна

Большая часть проанализированных проб расположена в пределах неоархейского Ёнского зеленокаменного пояса (ЗКП) и только 2 пробы — в верховье реки Ёна в области распространения пород неоархейского комплекса основания (рис. 4). Проанализированы гнейсы, амфиболиты, метакоматииты и эклогиты (табл. 2, № 42–43, 45–54) неоархейского ёнского комплекса Ёнского ЗКП, а также тоналитогнейсы и кианит-гранат-биотитовые гнейсы (табл. 2, № 55–58) неоархейского комплекса основания.

Высокие значения  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  (от 0,14 до 0,19) для эклогитов, метакоматиитов и амфиболитов не позволяют определить значения  $\epsilon_{\text{Nd}}$ , а полученные Sm-Nd модельные возрасты эклогитов и метакоматиитов явно занижены и не имеют геологического смысла. Все остальные Sm-Nd модельные возрасты для гнейсов и амфиболитов ёнского комплекса и гнейсов комплекса основания лежат в интервале 2,7–3,0 млрд лет, а значения  $\epsilon_{\text{Nd}}$ , рассчитанные на U-Pb-возраст 2750 млн лет по [19], положительные и варьируют от +1,5 до +4,4 (табл. 2).

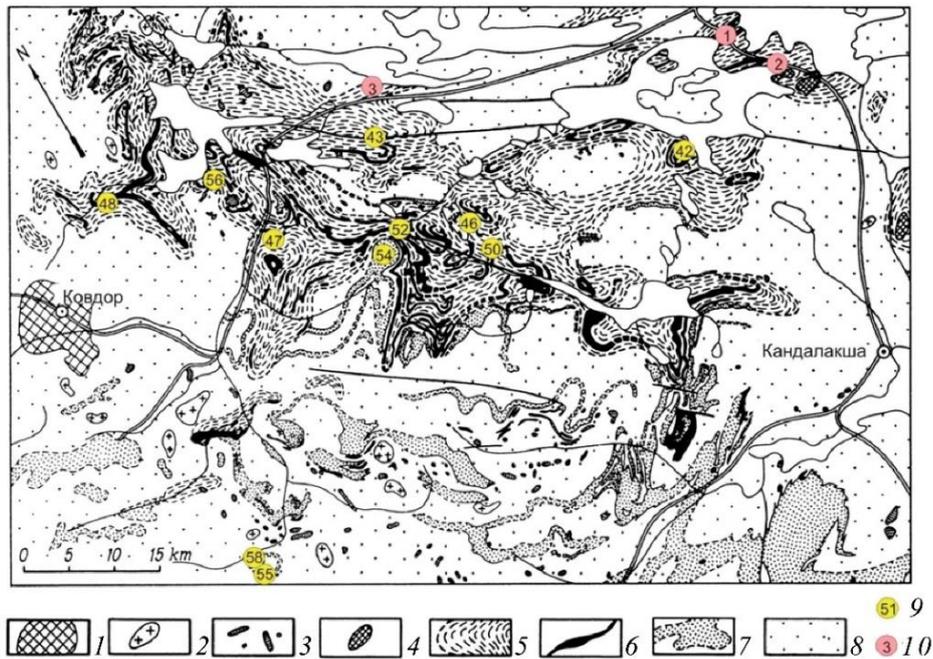


Рис. 4. Расположение точек отбора проб на схематической геологической карте Ёнского сегмента Беломорского составного террейна:

1 — палеозойский Ковдорский массив; 2 — неоархейские плагиомиоклиновые граниты; 3 — палеопротерозойские друзиты; 4 — палеопротерозойские амфиболиты; 5 — гнейсы с редкими и маломощными телами амфиболитов; 6 — мощные пластовые тела амфиболитов стратифицированного неоархейского ёнского комплекса; 7 — гранат-кианит-биотитовые гнейсы неоархейского нестратифицированного комплекса; 8 — гнейсы, мигматиты и гранитогнейсы комплекса основания; 9 — точки отбора проб (п / п номера в таблице 2); 10 — положение участков с реликтами эклогитов: Широкая Салма (1), Узкая Салма (2), Куру-Ваара (3)

Fig. 4. Sample points on the geological scheme of Ena segment of the Belomorian composited terrain:

1 — Kovdor massif; 2 — Neoarchaeal plagiomicrocline granites; 3 — Palaeoproterozoic drusites; 4 — Palaeoproterozoic amphibolites; 5 — gneisses with small amphibolites bodies; 6 — thick bodies of the Neoarchaeal Ena complex amphibolites; 7 — Ky-Grt-Bt gneiss of the Neoarchaeal nonstratigraphic complex; 8 — granite-gneisses, gneisses and migmatites of basement complex; 9 — sample points (see Table 2); 10 — eclogites areas: Shirokaya Salma (1), Uzkaya Salma (2), Kuru-Vaara (3)

### Приимандровский район

Из Приимандровского района проанализирована 31 проба (рис. 5, табл. 3), в том числе 5 проб из Вочеламбинского полигона и 14 проб из массива Оспе-Лувтуайвенч.

Из Кислогубской тектонической пластины [20, рис. 3.65] (рис. 5), сложенной гнейсами и амфиболитами кислогубской свиты с U-Pb-возрастом  $2718 \pm 10$  млн лет [21], были проанализированы амфибол-биотитовые гнейсы, амфиболиты и метакоматииты. Sm-Nd модельные возрасты гнейсов, амфиболитов и метакоматиитов (табл. 3, № 59–61) составили 2,8–2,9 млрд лет, значения  $\epsilon_{Nd}$  около +2,0. Для одной пробы биотит-амфиболовых гнейсов по риодацитам и ее дубликату (табл. 3, № 62–63) Sm-Nd модельный возраст равен 2,6–2,7 млрд лет при положительных значениях  $\epsilon_{Nd}$ . Дискордантный U-Pb-возраст циркона из интенсивно рассланцованной разновидности этих гнейсов —  $2143 \pm 16$  млн лет рассматривался как метаморфический, отвечающий позднеятулийскому этапу метаморфизма [22].

Из Витегубской тектонизированной зоны [20, рис. 3.65] (рис. 5), сложенной гнейсами и амфиболитами пялочной, арваренчской и кукшинской свитами, проанализировано 5 проб. Sm-Nd модельный возраст амфиболитов (табл. 3, № 68) пялочной свиты равен 2959 млн лет, а гранат-кордиерит-биотит-мусковитовых гнейсов (табл. 3, № 66–67) по метаосадкам — 2,4–2,6 млрд лет при положительных значениях  $\epsilon_{Nd}$ .

Sm-Nd модельный возраст амфибол-биотитовых гнейсов (табл. 3, № 69) по дацитам арваренчской свиты с U-Pb-возрастом  $2707 \pm 11$  млн лет [23] был рассчитан по одному образцу с низким низкими значениями  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  отношений и равен 2,95 млрд лет,  $\epsilon_{\text{Nd}}$  составляет +0,6. По данным же [24], U-Pb возраст (SHRIMP II) метадацитов и метаандезитов арваренчской свиты палеопротерозойский —  $2429 \pm 7$  млн лет, а Sm-Nd модельные возрасты — 3,3–3,0 млрд лет при отрицательных значениях  $\epsilon_{\text{Nd}}$  (Т) от –0,8 до –8,4. Модельный возраст коматиитов равен 2,95–3,15 млрд лет, а значение  $\epsilon_{\text{Nd}}$  для этих пород варьирует в пределах от –4,1 до +1,6 [25]. Sm-Nd модельный возраст палеопротерозойских амфиболитов (табл. 3, № 70) кукшинской свиты составляет 3226 млн лет,  $\epsilon_{\text{Nd}}$  равен –0,7.

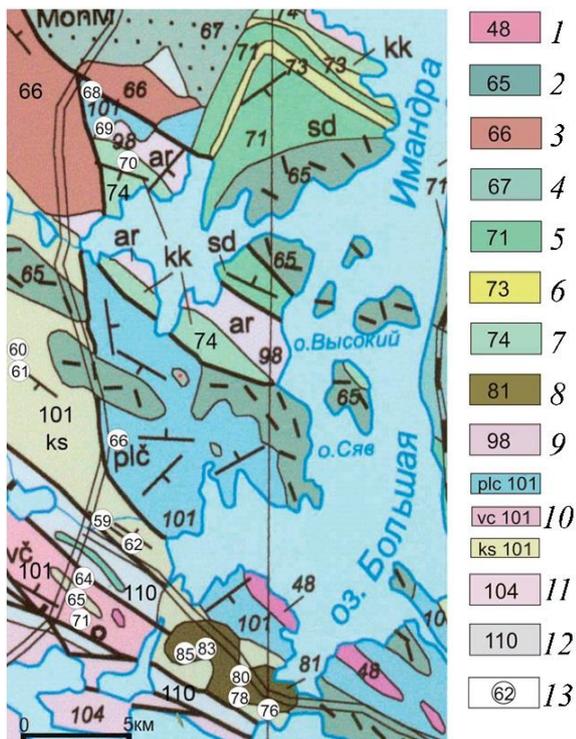


Рис. 5. Расположение точек отбора проб в Приимандровском районе на фрагменте геологической карты [8].  
Номерами на карте обозначены разновозрастные кристаллические породы по [8]:  
1–7 — палеопротерозойские породы: людиковийские перидотиты и пироксениты (1), габбро-нориты и диориты Иmandровского массива (2), габбро-анортозиты Мончетундровского массива (3), базит-гипербазиты Мончегорского массива (4), метавулканы сейдореченской (sd) свиты (5), метасадки сейдореченской (sd) свиты (6), метавулканы кукшинской (kk) свиты (7); 8–12 — неoarхейские породы: массив Оспе-Лувтуайвенч (8), метариодациты арваренчской (ар) свиты (9), разнообразные гнейсы, мигматиты и амфиболиты пялочной (плс), вочеламбинской (вс) и кислугубской (кс) свит (10), граниты, гранодиориты, гранито-гнейсы и мигматиты (11), гранито-гнейсы, гнейсы и мигматиты комплекса основания (12); 13 — точки отбора проб с номерами, соответствующими номерам в табл. 3

Fig. 5. Sample points on the Imandra area on the geological map [8], rocks [8]:

1–7 — Palaeoproterozoic: peridotites and pyroxenites (1), gabbro-norites and diorites Imandra massif (2), Monchetundra gabbro-anorthosites (3), mafic-ultramafic rocks of Monchegorsk massif (4), melavulcanites of (sd) formation (5), metasediments of (sd) formation (6), melavulcanites (kk) formation (7); 8–12 — Neoproterozoic rocks: Ospe-Luvtuayvench massif (8), metariodacites of (ar) formation (9), gneisses, migmatites and amphibolites of (plс), (vс) (ks) formations (10), granites, granodiorites granite-gneiss and migmatites (11), granite-gneisses, gneisses and migmatites of basement complex (12); 13 — sample points (see Table 3)

Из Вочеламбинского зеленокаменного пояса [20, рис. 3.65] (рис. 5) к северу от Вочеламбинского полигона были опробованы амфиболиты и гнейсы вочеламбинской свиты. Sm-Nd модельный возраст амфиболитов (табл. 3, № 64) равен 2762 млн лет, а биотит-мусковитовых гнейсов по метасадкам — 2516 млн лет. Sm-Nd модельный возраст эпидот-биотит-амфиболовых гнейсов (табл. 3, № 65) по риодацитам из второй толщи вочеламбинской свиты Вочеламбинского полигона [26] равен 3024 млн лет, а  $\epsilon_{\text{Nd}}$  равен +0,42. Sm-Nd модельные возрасты палеопротерозойских даек плагиомикроклиновых гранитов и плагиопорфиринов (табл. 3, № 72–74) варьируют в пределах 3,0–3,5 млрд лет при отрицательных значениях  $\epsilon_{\text{Nd}}$ . Предварительный U-Pb-возраст гранитов, полученный Т. Б. Баяновой, составляет 2,24 млрд лет. Sm-Nd модельный возраст сариолийской дайки метадолеритов (табл. 3, № 75) равен 2617 млн лет при  $\epsilon_{\text{Nd}} = +1,1$ .

Таблица 3

Table 3

Sm-Nd изотопные данные для пород центральной части Кольского региона (образцы В. И. Пожиленко)  
Sm-Nd isotopic data for rocks of central part of Kola Region (samples from Vladimir I. Pozhilenko)

№ п/п	Номер образца Sample	Порода Rock type	Sm, ppm	Nd, ppm	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$T_{(\text{DM})}$ , млн лет $T_{(\text{DM})}$ , mln. year	$\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ ( $T$ , млн лет) $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ ( $T$ , mln. year)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Приимандровский р-н (тектонический меланж) Priimandrovsky tectonic mélange								
59	719-1-1	Амф-Би гнейс Amp-Bt gneiss	12,29	55,1	0,1349	$0,511630 \pm 26$	2927	+1,9 (2718)
60	П-04-1	Амфиболит Amphibolite	2,52	10,36	0,1472	$0,511865 \pm 27$	2934	+2,0 (2700)
61	П-04-2	Метакоматиит Metakomatiite	1,924	10,08	0,1154	$0,511294 \pm 23$	2865	+2,0 (2700)
62	3-5-19	Би-Амф гнейс Bt-Amp gneiss	3,62	19,44	0,1126	$0,511361 \pm 13$	2687	+2,1 (2500*)
63	3-5-19*	Би-Амф гнейс Bt-Amp gneiss	3,56	19,60	0,1098	0,511356	2622	+2,9 (2500*)
64	94-6-6	Амфиболит Amphibolite	2,80	11,20	0,1511	$0,512012 \pm 31$	2762	–
65	94-6-1	Би-Мус гнейс Bt-Ms gneiss	0,075	0,428	0,1057	$0,511361 \pm 17$	2516	+0,8 (2200 <sup>2*</sup> )
66	94-1-1	Гр-Кор-Би-Мус гнейс Grt-Crd-Bi-Ms gneiss	2,040	10,16	0,1214	$0,511595 \pm 19$	2559	+0,9 (2200 <sup>2*</sup> )
67	94-1-1*	Гр-Кор-Би-Мус гнейс Grt-Crd-Bi-Ms gneiss	1,505	7,28	0,1250	0,511723	2445	+4,7 (2450 <sup>2*</sup> )
68	СА-12	Амфиболит Amphibolite	0,119	0,555	0,1295	$0,511508 \pm 20$	2959	+1,4 (2720)
69	Ар-1	Амф-Би гнейс Amp-Bt gneiss	5,52	31,3	0,1066	$0,511066 \pm 18$	2951	+0,6 (2707)
70	КУК-1	Амфиболит Amphibolite	2,98	11,22	0,1605	$0,512019 \pm 16$	3226	-0,7 (2450 <sup>2*</sup> )
Вочеламбинский полигон The Voche-Lambina polygon								
71	П-02-1	Би-Амф гнейс Bt-Amp gneiss	6,4	34,0	0,1147	$0,511176 \pm 13$	3024	+0,42 (2750)
72	КН-1/3-01	Пл-Микр гранит Pl-Mc granite	1,300	6,75	0,1164	$0,511006 \pm 23$	3338	-8,8 (2240)
73	КН-1/3-01*	Пл-Микр гранит Pl-Mc granite	1,297	6,93	0,1131	0,511153	3010	-5,0 (2240)
74	СА-16	Метаплагиопорфирит Metaplagioporphyrite	5,01	18,98	0,1595	$0,511894 \pm 14$	3513	–
75	СА-2,2	Метадолерит Metadolerite	5,91	29,81	0,1198	$0,511532 \pm 28$	2617	+1,1 (2300 <sup>2*</sup> )
Интрузивный массив г. Оспе-Лувтуайвенч Ospe-Luvtuayvench massif								
76	Э-1	Метапироксенит Metapyroxenite	1,680	7,85	0,1293	$0,511361 \pm 24$	3213	-1,3 (2735)
77	Э-2	Метагабронорит Metagabbronorite	1,958	9,64	0,1228	$0,511311 \pm 15$	3068	+0,0 (2735)
78	Э-3	Металейкогаббро Metaleucogabbro	1,556	8,42	0,1117	$0,511140 \pm 12$	2989	+0,6 (2735)
79	231-2	Металейкогаббро Metaleucogabbro	2,686	11,43	0,1420	$0,511686 \pm 19$	3097	+0,6 (2735)
80	228-1	Метапироксенит Metapyroxenite	1,848	8,28	0,1349	$0,511782 \pm 26$	2637	+2,7 (2450*)
81	228-1*	Метапироксенит Metapyroxenite	2,02	9,14	0,1339	$0,511699 \pm 42$	2761	+1,4 (2450 <sup>2*</sup> )

Окончание таблицы 3  
Table 3 (Continued)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
82	253-1a	Метагаббро Metagabbro	2,22	10,26	0,1306	0,511441 ± 20	3119	-0,2 (2735)
83	253-2	Металейкогаббро Metaleycogabbro	1,645	7,71	0,1290	0,511430 ± 18	3080	+0,2 (2735)
84	253-2*	Металейкогаббро Metaleycogabbro	1,830	8,62	0,1283	0,511392 ± 22	3122	-0,3 (2735)
85	П-04-9	Метадиорит Metadiorite	2,02	10,51	0,1160	0,511212 ± 13	3008	+0,5 (2735)
86	П-04-7	Метадиорит Metadiorite	1,948	10,68	0,1103	0,511102 ± 24	3004	+0,4 (2735)
87	223-1	Метадолерит Metadolerite	7,92	37,3	0,1281	0,511504 ± 20	2918	-0,1 (2500 <sup>2*</sup> )
88	П-02-2	Монцогранодиорит Monzogranodiorite	3,45	24,82	0,0841	0,510910 ± 01	2624	-6,0 (1920 <sup>2*</sup> )
89	П-02-6	Гранодиорит Granodiorite	2,40	12,81	0,1133	0,511210 ± 23	2931	-7,6 (1900 <sup>2*</sup> )

Примечания. 1. Образцы под номерами 59–70 — Приимандровский район: р. Куркенйок (59), высотная отметка 368,8 м (60–61), к западу от Кислой губы оз. Большая Имандра (62–63), к северу от Вочеламбинского полигона (64–65), г. Нюрпа (66–67), северный склон г. Арваренч (68–70); 71–75 — Вочеламбинский полигон; 76–89 — массив г. Оспе-Лувтуайвенч: район г. Оспе (76–81), район г. Лувтуайвенч (82–86), район г. Оспе (87–88), район г. Лувтуайвенч (89).

2. Амф — амфибол; Би — биотит; Гр — гранат; Кор — кордиерит; Мус — мусковит; Пл — плагиоклаз; Микр — микроклин.

Notes. 1. Samples 59–70 — Imandra area: Kurkenyok river (59), alt 368,8 m (60–61), to west from Kislaya Bay (Imandra) (62–63), to north from Voche-Lambina polygon (64–65), Nurpa mount (66–67), Arvarench mount (north) (68–70); 71–75 — Voche-Lambina polygon; 76–89 — Ospe-Luvtuayvench massif: Ospe mount (76–81), Luvtuayvench mount (82–86), Ospe mount (87–88), Luvtuayvench mount (89).

2. Amp — amphibole; Bi — biotite; Grt — garnet; Crd — cordierite; Ms — muscovite; Pl — plagioclase; Mc — microcline.

По данным, приведенным в работе [27], Sm-Nd модельные возрасты неoarхейских тоналит-трондьемитовых гнейсов комплекса основания Вочеламбинского полигона [26] находятся в интервале 2875–2920 млн лет, тоналито-гнейсов — 2808 млн лет, метагранодиоритов — 2848 млн лет, микроклин-олигоклазовых гранитов — 2971–2854 млн лет, которые более чем на 200 млн лет превышают возраст их кристаллизации. Величины  $\epsilon_{Nd}$  для тоналито-гнейсов ( $T = 2808$  млн лет) и метагранодиоритов ( $T = 2814$  млн лет) являются положительными (+2,04, +3,34), для микроклин-олигоклазовых гранитов значения  $\epsilon_{Nd}$  ( $T = 2708$  млн лет) варьируют от -0,72 до +1,49.

Из расслоенного интрузивного массива Оспе-Лувтуайвенч [20, рис. 3.65] (рис. 5) с U-Pb-возрастом  $2736 \pm 11$  млн лет [28, 29] были проанализированы 14 проб (в том числе 3 пробы из даек) (табл. 3, № 76–89). Sm-Nd модельные возрасты метаморфизованных пироксенитов, габбро, лейкогаббро и диоритов (табл. 3, № 76–79, 82–86) массива мезoarхейские и варьируют в интервале 2989–3213 млн лет, а значения величин  $\epsilon_{Nd}$  (2735) изменяются от -1,3 до +0,6. Только одна проба метапироксенита и ее дубликат (табл. 3, № 80–81) с положительными значениями  $\epsilon_{Nd}$  (2735) имеет неoarхейский Sm-Nd модельный возраст — 2,6–2,8 млрд лет.

В последнее время были получены палеопротерозойские U-Pb-возрасты пород массива Оспе-Лувтуайвенч —  $2445 \pm 5$  млн лет (блок Лувтуайвенч) и  $2455,8 \pm 3,5$  млн лет (блок Оспе) и  $\epsilon_{Nd}$  (2450) +0,61 и -1,58 соответственно, их модельные Sm-Nd-возрасты — 2,81–3,01 млрд лет [30]. Наши же Sm-Nd изотопные данные по породам массива Оспе-Лувтуайвенч (табл. 3, № 76–86), рассчитанные на возраст 2456 млн лет, имеют только отрицательные значения  $\epsilon_{Nd}$  (от -1,4 до -3,7). Практически все интрузивные породы палеопротерозойских расслоенных интрузий такого же возраста имеют отрицательные значения  $\epsilon_{Nd}$ . Из многочисленных и разновозрастных дайковых и жильных тел, прорывающих породы массива Оспе-Лувтуайвенч [31], Sm-Nd изотопные данные получены только для доскладчатых метадолеритов и метагранодиоритов и постскладчатых монцогранодиоритов (табл. 3, № 87–89). Sm-Nd модельный возраст метадолеритов и метагранодиоритов составляет 2,9 млрд лет, а монцогранодиоритов — 2,6 млрд лет.

## 5. Обсуждение и выводы

При обобщенном рассмотрении результатов Sm-Nd изотопных исследований раннедокембрийских метаморфических и интрузивных пород ряда структур центральной части Кольского региона (табл. 1–3) можно сделать ряд общих и частных замечаний и выводов.

1. Результаты, полученные по дубликатам, для нескольких проб оказались достаточно близки, но в ряде случаев значительно различались. Два дубликата (№ 20 и 44) были проанализированы в Дублинском университетском колледже (Ирландия), и результаты анализа оказались достаточно близки с теми, которые были получены в лаборатории Геологического института КНЦ РАН.

2. Существуют противоречия результатов Sm-Nd изотопных исследований ряда пород с известными геологическими данными, что требует дополнительных исследований:

- Sm-Nd модельные возрасты эклогитов Нявка-тундры (№ 35–36) и Чирвас-губы (№ 42) [32, 33] не соответствуют действительности (2,1–2,3 млрд лет), если исходить из архейского возраста протолитов эклогитов [34 и др.] других участков Беломорского террейна;

- Sm-Nd модельные возрасты гранатовых амфиболитов (№ 50–51) и сингенетичных с ними метакоматиитов (№ 45–46) ёнского комплекса Беломорского террейна также не соответствуют действительности (2,4–2,5 млрд лет), если исходить из неоархейского возраста этих пород [19].

Возможно, эти несоответствия можно объяснить высокой степенью преобразований пород на поздних этапах, иногда небольшими (непредставительными) объемами проб, в ряде случаев — лабораторными ошибками.

3. Результаты Sm-Nd изотопных исследований архейских пород супракомплекса и комплекса основания рассмотренных структур позволяют предполагать, что они являются компонентами ювенильной мезоархейской коры:

- Sm-Nd модельные возрасты гнейсов, метадиоритов и амфиболитов Нявкинского блока (за исключением эклогитов) мезоархейские — 2,9–3,2 млрд лет с положительными значениями  $\varepsilon_{Nd}$  ( $T = 2750$  млн лет), что может свидетельствовать о мезоархейском возрасте коры и незначительном вкладе в состав протолитов более древних коровых пород;

- Sm-Nd модельные возрасты гнейсов нестратифицированного комплекса, лептитов, амфиболитов и железистых кварцитов оленегорского толщи и тоналито-гнейсов основания Оленегорского блока Кольско-Норвежского террейна, а также пород супракомплекса и комплекса основания Нотозёрского блока Беломорского составного террейна мезоархейские и варьируют в интервале 2,90–3,28 и 2,8–3,1 млрд лет соответственно при положительных значениях  $\varepsilon_{Nd}$ . Это может свидетельствовать о неомезоархейском возрасте коры и незначительном вкладе в состав протолитов более древних коровых пород;

- Sm-Nd модельные возрасты пород супракомплекса и комплекса основания Ёнского сегмента Беломорского составного террейна несколько моложе — в основном неоархейского возраста (2,71–2,89 млрд лет). Положительные значения  $\varepsilon_{Nd}$  ( $T = 750$  млн лет) могут свидетельствовать о неоархейском возрасте проанализированных пород коры, а также о незначительном вкладе в состав протолитов более древних коровых пород. Косвенным подтверждением этого может служить U-Pb-возраст разновидностей циркона из двух проб комплекса основания, определенный методом ТИЭ (термоионной эмиссии свинца) и составляющий 2720–2750 млн лет.

4. По интрузивным породам (массивам, дайкам) получены следующие результаты:

- Sm-Nd модельные возрасты пород палеопротерозойского массива Анис по [8], расположенного между Нотозёрским блоком Беломорского террейна и Оленегорским блоком Кольско-Норвежского террейна, равны 2,75–3,01 млрд лет. Значения  $\varepsilon_{Nd}$ , рассчитанные на 2500 млн лет, отрицательные. Массив Анис неоднороден — геологические взаимоотношения между более молодыми габбро-анортозитами и диоритами сложные. Возможно, что эти диориты архейские, косвенным указанием на это могут служить данные ТИЭ датирования циркона из 3 проб, для 5 навесок циркона получен возраст 2730–2840 млн лет;

- Sm-Nd изотопные данные постархейских пегматоидных гранитов доскладчатой жилы (№ 4) участка «Верхнее-Волчье» Оленегорского блока Кольско-Норвежского террейна свидетельствуют о ювенильном веществе палеопротерозойского тектонического этапа активизации, в то время как протолиты неметаморфизованных и недеформированных плагиомикроклиновых пегматитов (№ 3–4) и долеритов (№ 6) Кировогорского железорудного карьера значительно контаминированы породами

мезоархейской континентальной коры. Примерно такая же ситуация и с дайками плагиомикроклиновых гранитов (№ 72–73) и метаплагиопрорфиритов (№ 74) на Вочеламбинском полигоне и метадолеритов (№ 87), гранодиоритов (№ 89) и монцогранодиоритов (№ 88) в интрузивном массиве Оспе-Лувтуайвенч;

- Sm-Nd изотопные данные для габбро-анортозитов массива Гирвас (№ 28), расположенного в юго-восточном окончании ЛГП с Sm-Nd модельным возрастом 2,75 млрд лет и положительным значением  $\epsilon_{Nd}$  ( $T = 2500$  млн лет), совпадают с данными по другим массивам габбро-анортозитов, расположенными в северо-восточном обрамлении ЛГП [35].

Наиболее общие выводы сводятся к следующему.

Образования палеопротерозойской ювенильной коры выявлены только в пределах Затуломского блока Кольско-Норвежского террейна и в Приимандровском районе. Кроме неархейских, отмечаются породы с палеопротерозойскими Sm-Nd модельными возрастными и положительными значениями  $\epsilon_{Nd}$ , в связи с чем эти блоки следует выделять в ранге структур тектонического меланжа.

Все остальные данные свидетельствуют, скорее, о мезоархейском или мезонеоархейском возрасте протолита пород коры рассмотренных структур, контаминированных в разной степени материалом более древней коры.

## Благодарности

Авторы признательны В. В. Балаганскому за плодотворное обсуждение результатов и конструктивные замечания по поводу изложения материала, положенного в основу работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Arndt N. T., Goldstein S. L. Use and Abuse of Crust-Formation Ages // *Geology*. 1987. Vol. 15, No. 10. P. 893–895.
2. De Paolo D. J., Linn A. M., Schubert G. The Continental Crustal Age Distribution: Methods of Determining Mantle Separation Ages from Sm-Nd Isotopic Data and Application to the Southwestern United State // *J. Geophys. Res.* 1991. Vol. 96, B 2. P. 2071–2088.
3. Daly J. S., Mitrofanov F. P., Morozova L. N. Late Archaean Sm-Nd Model Ages from the Voche-Lambina Area: Implications for the Age Distribution of Archaean Crust in the Kola Peninsula, Russia // *Precambrian Res.* 1993. Vol. 64. P. 189–195.
4. Timmerman M. J., Daly J. S. Sm-Nd Evidence for Late Archaean Crust Formation in the Lapland-Kola Mobile Belt, Kola Peninsula, Russia and Norway // *Precambrian Res.* 1995. Vol. 72. P. 97–107.
5. Изотопный возраст пород Колвицкого пояса и Умбинского блока (юго-восточная ветвь Лапландского гранулитового пояса, Кольский полуостров) / В. В. Балаганский [и др.] // *Вестник МГТУ*. 1998. Т. 1, № 3. С. 19–32.
6. Ion Microprobe U-Pb Zircon Geochronology and Isotopic Evidence Supporting a Trans-Crustal Suture in the Lapland Kola Orogen, Northern Fennoscandian Shield / J. S. Daly [et al.] // *Precambrian Res.* 2001. 105. P. 289–314.
7. Пожиленко В. И., Серов П. А., Петров В. П. Sm-Nd изотопные исследования раннедокембрийских пород Кольского региона: краткий обзор и новые данные // *Вестник КНЦ РАН*. 2018. № 1. С. 37–49.
8. Геологическая карта Кольского региона (северо-восточная часть Балтийского щита) масштаба 1:500000 / В. В. Балаганский [и др.]; гл. ред. Ф. П. Митрофанов. Апатиты, 1996.
9. Объяснительная записка к геологической карте северо-восточной части Балтийского щита масштаба 1:500000 / А. Т. Радченко [и др.]. Апатиты: КНЦ РАН, 1994. 95 с. (На рус. и англ. яз.).
10. Raczek I., Jochum K. P., Hofmann A. W. Neodymium and Strontium Isotope Data for USGS Reference Materials BCR-1, BCR-2, BHVO-1, BHVO-2, AGV-1, AGV-2, GSP-1, GSP-2 and Eight MPI-DING Reference Glasses // *Geostandards and Geoanalytical Res.* 2003. Vol. 27. P. 173–79.
11. Lugmair, G. W., Carlson, R. W. The Sm-Nd History of KREEP // *Proc. 9th Lunar Planet. Sci. Conf.* 1978. P. 689–704.
12. Bouvier A., Vervoort J. D., Patchett P. J. The Lu-Hf and Sm-Nd Isotopic Composition of CHUR: Constraints from Unequilibrated Chondrites and Implications for the Bulk Composition of Terrestrial Planets // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2008. Vol. 273 (1–2). P. 48–57.
13. Goldstein S. J., Jacobsen S. B. Nd and Sr Isotopic Systematics of River Water Suspended Material Implications for Crystal Evolution // *Earth Plan. Sci. Letters*. 1988. Vol. 87. P. 249–265.
14. The Lapland\_Kola Orogen: Palaeoproterozoic Collision and Accretion of the Northern Fennoscandian Lithosphere / J. S. Daly [et al.] // *European Lithosphere Dynamics. Geol. Soc. London. Memoirs*, 2006. Vol. 32. P. 579–598.
15. Patison N. L., Korja A., Lahtinen R., Ojala V.J. and FIRE Working Group. FIRE Seismic Reflection Profiles 4, 4A and 4B: Insights into Crustal Structure of Northern Finland from Ranua to Näätämö // Kukkonen T., Lahtinen R. (eds) *Finnish Reflection Experiment FIRE 2001-2005. Geological Survey of Finland, Special Paper 43*. Espoo: Geologian tutkimuskeskus. 2006. P. 161–222.
16. Баянова Т. Б., Егоров Д. Г. U-Pb-возраст полосчатой железорудной формации Кольского полуострова // *Геология и полезные ископаемые Северо-Запада и Центра России*. Апатиты, 1999. С. 19–24.
17. Новые данные по геохимии и изотопии (U-Pb, Lu-Hf, Sm-Nd) рудоносного Кеулик-Кениримского габбро-перидотитового комплекса, Кольский регион / В. Ф. Смолькин [и др.] // *Геология и стратегические полезные ископаемые Кольского региона: тр. XI Всерос. (с междунар. участием) Ферсмановской научной сессии*. Апатиты, 2014. С. 180–187.
18. Пожиленко В. И. Ранний докембрий Нотозерского района Кольского п-ова (особенности развития и структурной эволюции): дис. ... канд. геол.-мин. наук. Апатиты, 1983. 247 с.
19. Возраст эндогенных процессов Ёнского сегмента Беломорья / В. И. Пожиленко [и др.] // *Главные рубежи геол. эволюции Земли в докембрии и их изотопно-геохронологич. обоснование: тез. докл. всерос. совещ., 14–16 ноября 1995 г., г. Санкт-Петербург*. СПб., 1995. С. 53–54.
20. Геология рудных районов Мурманской области / В. И. Пожиленко [и др.]. Апатиты: КНЦ РАН, 2002.

359 с. **21.** Чащин В. В., Баянова Т. Б., Левкович Н. В. Кислогубская свита верхнеархейского Терско-Аллареченского зеленокаменного пояса (Кольский полуостров, Россия) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2004. Т. 12, № 6. С. 3–15. **22.** Пожиленко В. И., Баянова Т. Б. Возраст позднеятулийского метаморфизма пород Кислогубского участка (Кольский регион). // Наука и образование 2009: материалы междунар. науч.-техн. конф. Мурманск: Изд. МГТУ, 2009. С. 204–207. **23.** Соотношение и возраст арваренчской и кукшинской свит (г. Арваренч, Кольский регион, Балтийский щит) / В. И. Пожиленко [и др.] // Общие вопросы расчленения докембрия: материалы III Всерос. совещ. Апатиты: Полиграф, 2000. С. 215–218. **24.** Вревский А. Б. Петрология, возраст и полихронность источников инициального магматизма Имандра-Варзугского палеорифта Фенноскандинавского щита // Петрология. 2011. Т. 19, № 5. С. 546–574. **25.** Вревский А. Б., Богомолов Е. С. Мантийно-коровые источники сумийского вулканогенного комплекса Имандра-Варзугской структуры (арваренчская свита): геохимические и Sm-Nd изотопные данные // Изотопные системы и время геологических процессов. СПб., 2009. Т. 1. С. 119–121. **26.** Воче-ламбинский архейский геодинамический полигон Кольского полуострова / Ф. П. Митрофанов [и др.]. Апатиты: КНЦ АН СССР, 1991. 196 с. **27.** Морозова Л. Н., Баянова Т. Б., Серов П. А. Основные этапы гранитообразования в архее Северо-Востока Балтийского щита (на примере полигона Воче-Ламбина) // Литосфера. 2011. № 6. С. 14–26. **28.** Пожиленко В. И., Баянова Т. Б., Кудряшов Н. М. Позднеархейский расслоенный диорит-базит-гипербазитовый массив Оспе-Лувтуайвенч (Кольский полуостров) // Геодинамика, магматизм, седиментогенез и минералогия Северо-запада России: материалы всерос. конф. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 306–310. **29.** Пожиленко В. И. Позднеархейский расслоенный диорит-базит-гипербазитовый массив Оспе-Лувтуайвенч (Кольский полуостров) // Проект Интеррег-Тасис: Стратегические минеральные ресурсы Лапландии — основа устойчивого развития Севера. Апатиты: КНЦ РАН, 2009. С. 89–96. **30.** Чащин В. В., Баянова Т. Б., Серов П. А. Массив метабазитов Оспе-Лувтуайвенч (Кольский полуостров, Россия): геологическое строение, петро-геохимические и изотопно-геохронологические свидетельства принадлежности к Имандровскому комплексу расслоенных интрузий // Петрология. 2015. Т. 23, № 5. С. 459–489. **31.** Борисенко Е. С., Пожиленко В. И. Дайковый магматизм южной части Приимандровского района // Актуальные проблемы геологии докембрия, геофизики и геоэкологии: материалы XXI молодеж. науч. конф., посвященной памяти чл.-корр. АН СССР К. О. Кратца, г. Санкт-Петербург. 2010. С. 215–219. **32.** Пожиленко В. И., Кониллов А. Н., Ван К. В. Эклогиты северо-восточной части Ёнского сегмента Беломорья: новые данные // Региональная геология, минералогия и полезные ископаемые Кольского полуострова: тр. XIII Всерос. (с междунар. участием) Ферсмановской научной сессии, посвященной 50-летию Дня геолога (г. Апатиты, 4–5 апреля 2016 г.). Апатиты, 2016. С. 118–122. **33.** Пожиленко В. И., Кониллов А. Н., Ван К. В. Минералы эклогитов северо-восточной части Ёнского сегмента Беломорья: новые данные // Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле: материалы Семнадцатой междунар. конф. (Москва, 26–28 сентября, Борок 30 сентября 2016 г.). М.: ИГЕМ РАН, 2016. С. 279–282. **34.** Мезонеоархейская Беломорская эклогитовая провинция: интерпретация геохронологических данных / М. В. Минц [и др.] // Изотопные системы и время геологических процессов: материалы IV рос. конф. по изотопной геохронологии (2–4 июня 2009 г., г. Санкт-Петербург). 2009. Т. 2. С. 25–28. **35.** Результаты комплексного исследования полиметаморфических анортозитов Лапландского гранулитового пояса: от петрографии к изотопным методам / Л. И. Нерович [и др.] // Петрология и рудоносность регионов СНГ и Балтийского щита: материалы X междунар. всерос. петрограф. совещ. Апатиты: КНЦ РАН, 2005, Т. 3. С. 206–208.

### Сведения об авторах

*Пожиленко Владимир Иванович* — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН

E-mail: pozhil@geoksc.apatity.ru

*Серов Павел Александрович* — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН

E-mail: serov@geoksc.apatity.ru

### Author Affiliation

*Vladimir I. Pozhilenko* — PhD (Geology & Mineralogy), Senior Researcher of the Geological Institute of the KSC of the RAS

*Pavel A. Serov* — PhD (Geology & Mineralogy), Senior Researcher the Geological Institute of the KSC of the RAS

E-mail: serov@geoksc.apatity.ru

### Библиографическое описание статьи

*Пожиленко, В. И.* Sm-Nd изотопные исследования раннедокембрийских пород центральной части Кольского региона: новые данные / В. И. Пожиленко, П. А. Серов // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2018. — № 2 (10). — С. 71–86.

### Reference

*Pozhilenko Vladimir I., Serov Paul. A.* Sm-Nd Isotope Studies of Early Precambrian Rocks of the Central Part of the Kola Region: New Data. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2018, vol. 2 (10), pp. 71–86 (In Russ.).