

DOI: 10.30695/zrmo/2019.1482.00

Д. чл. М. Н. ПЕТРОВСКИЙ, Л. С. ПЕТРОВСКАЯ

ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКИЙ ЩЕЛОЧНОЙ МАГМАТИЗМ МУРМАНСКОГО НЕОАРХЕЙСКОГО КРАТОНА, КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ

Геологический институт КНЦ РАН,
184209, Апатиты, Мурманская обл., ул. Ферсмана, 14;
e-mail: petrovskiy@geoksc.apatity.ru

В статье представлены результаты геологических, геохронологических и изотопно-геохимических исследований щелочно-ультраосновного массива нижнего течения р. Иоканга, расположенного в пределах Карело-Кольской щелочной провинции. Щелочно-ультраосновной массив сложен нефелиновыми клинопироксенитами, нефелиновыми габброидами, малинитами и нефелиновыми сиенитами. Породы щелочно-ультраосновного массива имеют палеопротерозойский возраст. Время кристаллизации нефелиновых клинопироксенитов определено $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом по флогопиту и равно 1955 ± 10.8 млн лет, а изохронная Rb-Sr зависимость по всей совокупности образцов пород интрузии отвечает возрасту 1937 млн лет, при $I_{\text{Sr}} = 0.70316$. Согласно своим изотопно-геохимическим Sm-Nd и Rb-Sr характеристикам породы щелочно-ультраосновного массива нижнего течения р. Иоканга имеют мантийное происхождение, а источником их расплавов, по-видимому, являлась мантия типа BSE.

Ключевые слова: щелочно-ультраосновной магматизм, палеопротерозой, Карело-Кольская щелочная провинция, нефелиновые клинопироксениты, нефелиновые сиениты, мантия.

M. N. PETROVSKIY, L. S. PETROVSKAYA. PALEOPROTEROZOIC ALKALINE
MAGMATISM OF THE MURMANSKY NEOARCHAEOAN CRATON, KOLA PENINSULA

Geological Institute, Kola Science Center RAS, Apatity, Russia

The article represents results of geological, geochronological and isotope-geochemical studies of the alkaline-ultrabasic massif located in the lower reaches of the Iokanga River in the Karelian-Kola Alkaline Province. The alkaline-ultramafic massif is composed of nepheline clinopyroxenites, nepheline gabbroids, malignites, and nepheline syenites. These rocks are of Paleoproterozoic age. The age of crystallization determined for nepheline clinopyroxenites by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ phlogopite method is 1955 ± 10.8 Ma, and Rb-Sr isochron over the entire pool of samples of the intrusive rocks corresponds to an age of 1937 Ma, at $I_{\text{Sr}} = 0.70316$. According to their isotope-geochemical Sm-Nd and Rb-Sr characteristics, rocks of the alkaline-ultrabasic massif in the lower reaches of the Iokanga River have the mantle origin, and the source of their melts was apparently a mantle of the BSE type.

Keywords: alkaline-ultrabasic magmatism, Paleoproterozoic, Karelian-Kola Alkaline Province, nepheline clinopyroxenites, nepheline syenites, mantle.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из крупнейших в мире областей развития магматических щелочных комплексов является северо-восточная часть Фенноскандинавского щита, в пределах которой расположена уникальная по своим масштабам и минера-

геническому значению полихронная Карело-Кольская щелочная провинция. Эта провинция сформировалась в несколько возрастных этапов: неoarхейский (2700—2610 млн лет), палеопротерозойский (1950—1750 млн лет), мезопротерозойский (1600—1200 млн лет) и палеозойский (480—360 млн лет).

Мурманский неoarхейский кратон в пределах Фенноскандинавского щита занимает крайнее северо-восточное положение и протягивается вдоль Баренцево-морского побережья Кольского п-ва на 500 км в виде полосы шириной 60—70 км, постепенно выклиниваясь в северо-западном направлении (Строевые литосферы., 2005). В пределах Мурманского неoarхейского кратона известны магматические щелочные комплексы, сформировавшиеся в неoarхее (Батиева, 1976; Петровский и др., 2008; Петровский и др., 2009; Петровский, Петровская, 2017), мезопротерозое (Петровский и др., 2014) и палеозое (Arzamastsev, Petrovskiy, 2012). Интрузивные щелочные комплексы палеопротерозойского возраста в пределах Мурманского неoarхейского кратона ранее не выделялись. В 2004 году на Мурманском берегу Баренцева моря в нижнем течении р. Иоканьга авторами был открыт и изучен небольшой массив щелочно-ультраосновных пород. Возраст массива изначально нами интерпретировался как палеозойский (Петровский и др., 2005). В результате наших дальнейших исследований удалось определить, что массив нижнего течения р. Иоканьга сформировался в палеопротерозое в ходе тектономагматической активизации северо-восточной части Балтийского щита в свекофенское время, в одном временном интервале с другими палеопротерозойскими щелочными комплексами Карело-Кольской щелочной провинции.

В предлагаемой статье приводятся данные о геологическом строении щелочно-ультраосновного массива нижнего течения р. Иоканьга, петрографическая и петрохимическая характеристика слагающих его пород, а также результаты изотопно-геохронологических и изотопно-геохимических исследований минералов и пород массива.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Химический состав пород определялся методом классического количественного анализа в химико-аналитической лаборатории Геологического института Кольского НЦ РАН (ГИ КНЦ РАН). Химический состав минералов определялся с помощью рентгеноспектрального микроанализатора «Сатеса MS-46» в лаборатории физических методов ГИ КНЦ РАН. Изотопно-геохимические и возрастные определения пород производились по стандартным методикам: Rb-Sr и Sm-Nd методами по породам в лаборатории геохронологии и изотопной геохимии ГИ КНЦ РАН; $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом по флогопиту в Аналитическом центре ОИГТМ СО РАН г. Новосибирска.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ, ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ И ПЕТРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Небольшой интрузивный щелочно-ультраосновной массив нижнего течения р. Иоканьга расположен в 1.5 км к востоку от пос. Гремиха в приливо-отливной зоне Баренцева моря. Породы массива находятся под толщей воды Баренцева моря, а во время отлива — в виде отдельных разрозненных выходов, обнажается только его юго-юго-западная часть (рис. 1). Во фрагментарных

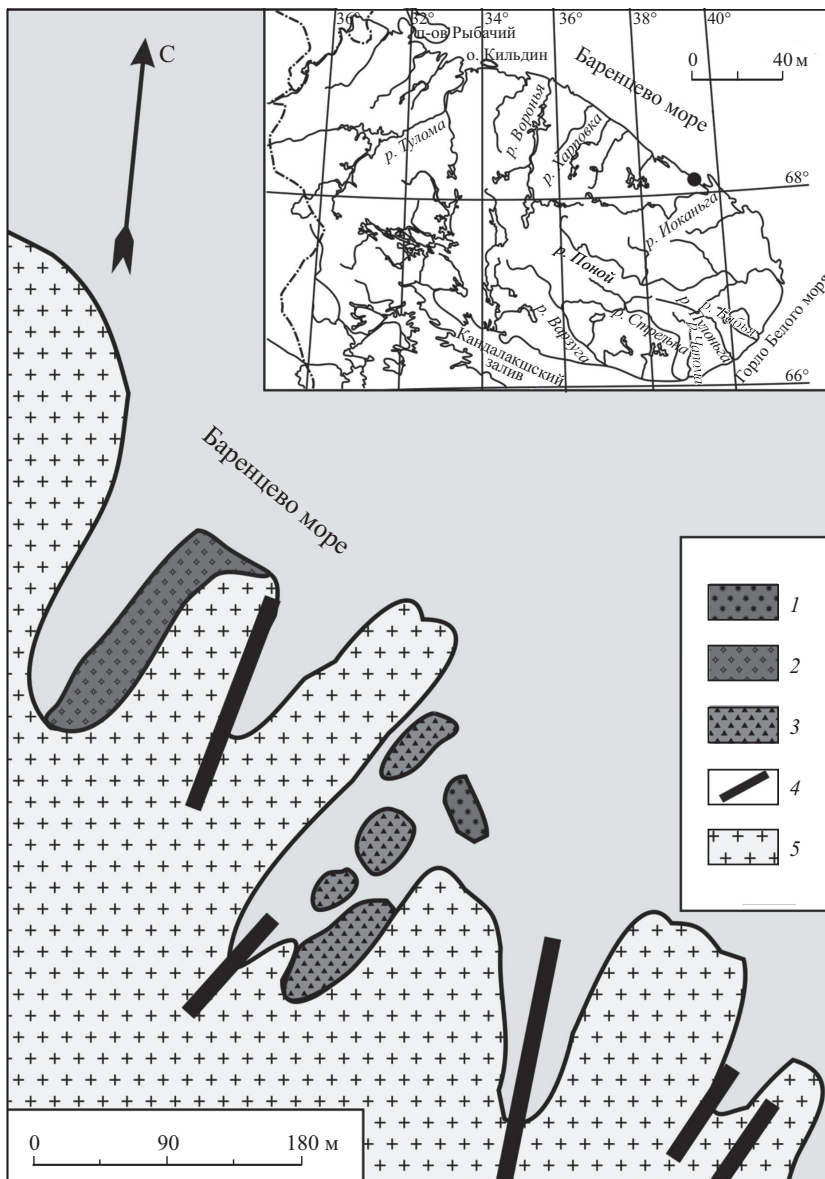


Рис. 1. Схема геологического строения щелочно-ультраосновного массива нижнего течения р. Иоканга: 1 — малиньиты, 2 — нефелиновые габброиды, 3 — нефелиновые клинопироксениты. Вмещающие породы: 4 — дайки габбро-норитов, 5 — плагиограниты.

Fig. 1. Scheme of geological structure of the alkaline-ultrabasic massif in lower reaches of the Iokanga River: 1 — malignites, 2 — nepheline gabbroids, 3 — nepheline clinopyroxenites, 4 — dikes of gabbro-norites, 5 — plagiogranites.

коренных выходах наблюдаются нефелиновые клинопироксениты, нефелиновые габброиды, малиньиты и нефелиновые сиениты. Протяженность выходов нефелиновых клинопироксенитов свыше 210 м при суммарной ширине обнажающейся полосы около 60 м; площадь выходов нефелиновых габброидов 160 на 30 м, а площадь выходов малиньитов 45 на 20 м. Взаимоотношения между этими разновидностями пород, из-за отсутствия видимых контактов,

установить не удалось. Нефелиновые сиениты слагают маломощные жилы (16—25 см), протяженностью от 5 до 30 м, прорывающие как все вышеперечисленные разновидности пород массива, так и вмещающие его породы. Определить форму массива в целом не представляется возможным.

Вмещающими породами для изученной интрузии являются неоархейские гиперстенсодержащие плагиограниты (эндербиты) с возрастом 2.79 млрд лет (Петровский и др., 2008) и палеопротерозойские дайки амфиболизированных габбро-норитов с возрастом 2.5—2.3 млрд лет (Арзамасцев и др., 2009). Контакты пород массива с плагиогранитами секущие, интрузивные; падение плоскостей контактов субвертикальное. В экзоконтактовой зоне мощностью до 5 м плагиограниты фенитизированы и преобразованы в щелочные граниты. Контакты нефелиновых клинопироксенитов и нефелиновых габброидов с дайками габбро-норитов не обнажены, нами наблюдались лишь пересечения даек габбро-норитов жилами нефелиновых сиенитов. В габбро-норитах, вдоль контактов с жилами нефелиновых сиенитов, наблюдаются зоны интенсивной амфиболизации, мощность этих зон 1—2 см.

Нефелиновые клинопироксениты представляют собой среднезернистые, реже средне-крупнозернистые черные породы массивной текстуры с хорошо визуально различимыми кристаллами клинопироксена, оливина и флогопита. Микроскопически структура пород изменяется от панидиоморфнозернистой с элементами пойкилитовой до гипидиоморфнозернистой в зависимости от вариаций содержания цветных минералов. Минеральный состав нефелиновых пироксенитов (об. %): клинопироксен ($Di_{68-77}Hd_{12-19}Aeg_{7-9}Jd_{2-7}$) — 61—68, оливин ($Fo_{77-87}Fa_{13-23}$) — 5—15, флогопит — 2—7, нефелин + натролит — 9—12, ортоклаз-пертит — 2—3, титаномагнетит + ильменит — 3—7, апатит — 1—2, кальцит — 1—4.

Нефелиновые габброиды — черные среднезернистые породы массивной текстуры с гипидиоморфнозернистой микроструктурой. Минеральный состав нефелиновых габброидов (об. %): клинопироксен ($Di_{64-69}Hd_{15-21}Aeg_{12-16}Jd_{3-4}$) — 39—48, оливин ($Fo_{68-73}Fa_{27-32}$) — 3—4, нефелин + натролит — 12—14, анортотлаз — 27—34, титаномагнетит + ильменит — 6—8, апатит — 1—2, кальцит — 1—2.

Малиньиты — зеленовато-темные среднезернистые породы массивной текстуры с гипидиоморфнозернистой микроструктурой. Минеральный состав малиньитов (об. %): клинопироксен ($Di_{50-65}Hd_{11-21}Aeg_{18-25}Jd_{3-6}$) — 50—54, нефелин — 24—26, анортотлаз — 15—17, ильменит — 1—1.5, апатит — ед. зерна — 0.5, кальцит — ед. зерна.

Нефелиновые сиениты — серые до темно-серых мелко-среднезернистые породы массивной, реже трахитоидной, текстуры с гипидиоморфнозернистой, участками порфириформной, микроструктурой. Минеральный состав нефелиновых сиенитов (об. %): клинопироксен ($Di_{38-46}Hd_{21-23}Aeg_{28-35}Jd_{3-4}$) — 7—10, нефелин — 15—18, альбит-антипертит — 70—72, ильменит — 0.5—1, апатит — ед. зерна — 0.5, кальцит — ед. зерна, циркон — ед. зерна.

Фениты по плагиогранитам представляют собой розовато-серые среднезернистые породы массивной текстуры. Микроструктура пород аллотриоморфнозернистая, участками гранофировая. Минеральный состав фенитов (об. %): эгирин — 1—2, биотит — 6—10, ортоклаз — 23—26, альбит — 38—40, кварц — 20—25, ильменит — ед. зерна, апатит — ед. зерна, циркон — ед. зерна.

Химический состав пород массива нижнего течения р. Иоканьга приведен в табл. 1. На диаграмме $Na_2O+K_2O - SiO_2$ (рис. 2), по содержанию SiO_2 поро-

**Химический состав (мас. %) пород щелочно-ультраосновного массива
нижнего течения р. Иоканьга**

**Chemical compositions (wt %) of rocks of the alkaline-ultrabasic massif
in lower reaches of the Iokanga River**

Компонент	Нефелиновые клинопироксениты						
	520-03	522-03	523-03	524-03	525-03	526-03	526-03a
SiO ₂	48.15	48.22	47.67	47.02	46.43	47.06	45.21
TiO ₂	1.84	1.93	2.27	1.79	2.23	1.93	2.20
Al ₂ O ₃	7.38	7.27	6.55	5.95	5.80	5.96	5.77
Fe ₂ O ₃	2.65	2.43	2.31	2.56	1.95	2.18	2.43
FeO	6.79	7.54	7.60	7.02	6.45	6.36	6.61
MnO	0.19	0.15	0.18	0.11	0.19	0.20	0.22
MgO	10.01	10.65	11.80	14.19	14.27	16.13	15.55
CaO	13.93	13.68	13.59	13.79	14.59	13.03	13.78
Na ₂ O	3.52	3.61	3.20	3.14	3.05	3.10	3.16
K ₂ O	2.24	2.12	1.79	1.55	1.58	1.49	1.43
P ₂ O ₅	0.17	0.18	0.24	0.15	0.26	0.23	0.37
CO ₂	0.70	0.94	0.87	1.41	1.67	0.63	1.56
S	0.05	0.08	0.05	0.08	0.10	0.04	0.07
F	0.13	0.15	0.17	0.15	0.18	0.13	0.14
H ₂ O ⁻	0.75	0.41	0.37	0.18	0.32	0.35	0.40
H ₂ O ⁺	1.47	0.63	1.33	0.89	1.05	0.97	1.21
Сумма	99.97	99.99	99.99	99.98	100.12	99.79	100.11

Таблица 1 (продолжение)

Компонент	Нефелиновые габброиды			Малиньит	Нефелиновый сиенит	Граниты	
	518-03	544-03	527-03	524-03a	528-03	531-03*	532-04**
SiO ₂	49.27	49.20	50.06	51.50	54.15	70.11	70.48
TiO ₂	2.91	2.99	3.29	0.45	1.01	0.35	0.31
Al ₂ O ₃	9.26	9.17	10.62	13.00	15.58	11.37	14.72
Fe ₂ O ₃	2.78	2.55	4.64	5.13	2.03	1.82	0.77
FeO	7.17	7.52	7.18	2.70	5.90	0.97	2.10
MnO	0.22	0.18	0.14	0.14	0.11	0.05	0.03
MgO	6.15	6.19	6.53	5.49	3.18	0.84	1.56
CaO	12.06	11.84	5.64	9.62	3.64	2.01	3.40
Na ₂ O	4.41	4.53	7.46	8.66	7.34	7.05	4.56
K ₂ O	2.77	2.83	2.78	1.98	4.01	3.60	0.90
P ₂ O ₅	0.28	0.16	0.40	0.13	0.57	0.14	0.10
CO ₂	0.69	0.94	0.59	0.13	0.85	0.29	—
S	0.07	0.05	0.04	0.07	0.04	0.03	0.06
F	0.16	0.11	0.02	0.06	0.02	0.03	0.02
H ₂ O ⁻	0.48	0.53	0.22	0.34	0.44	0.47	0.39
H ₂ O ⁺	1.35	1.20	0.46	0.56	1.25	0.78	0.55
Сумма	100.03	99.99	100.09	99.96	100.12	99.91	99.95

Примечание. * — фенитизированный плагиогранит экзоконтакта; ** — неизменный плагиогранит, отобранный на расстоянии 10 м от контакта щелочной интрузии.

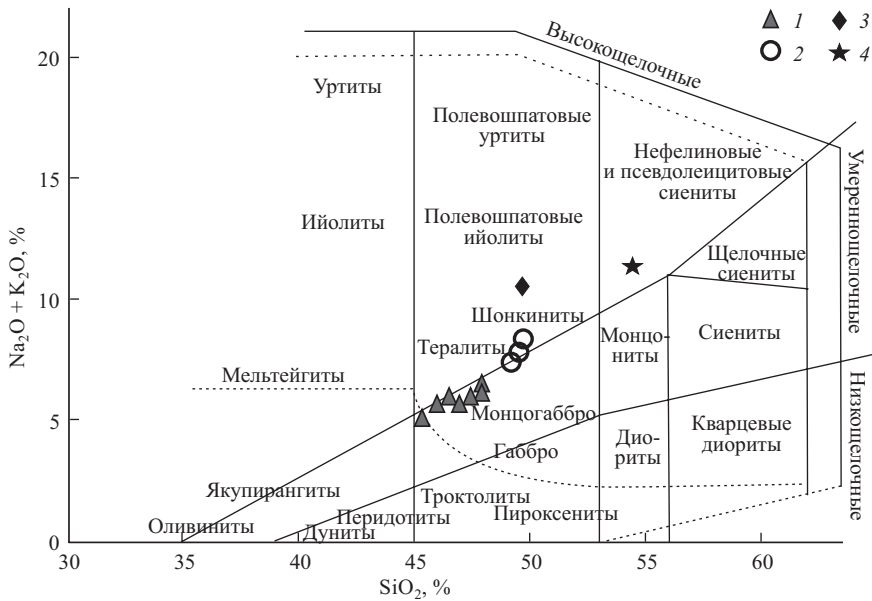


Рис. 2. Диаграмма TAS для пород щелочно-ультраосновного массива нижнего течения р. Иокангга: 1 — нефелиновые клинопироксениты, 2 — нефелиновые габброиды, 3 — малиньиты, 4 — нефелиновые сиениты.

Fig. 2. TAS diagram for rocks of the alkaline-ultramafic massif in lower reaches of the Iokanga River: 1 — nepheline clinopyroxenites, 2 — nepheline gabbroids, 3 — malinites, 4 — nepheline syenites.

ды массива попадают в диапазон от основной до средней групп. По соотношению содержания суммы щелочей к кремнезему фигуративные точки составов пород массива располагаются в полях умеренно- и высокощелочных пород, концентрируясь вдоль границы между этими полями (рис. 2). В то же время все породы интрузии недосыщены кремнеземом и содержат нефелин как в модалном, так и в нормативном составе.

По отношению суммы щелочей к глинозему все породы массива высокощелочные — в нефелиновых клинопироксенитах коэффициент апгаитности ($K_{ап}$) равен 1.04—1.17, в нефелиновых габброидах — 1.11—1.14, в малиньитах — 1.26—1.27, в нефелиновых сиенитах — 1.24—1.44. Эта особенность химизма пород отражается и в их минеральном составе, как было показано выше, клинопироксены всех разновидностей пород массива содержат эгириновый минал.

По соотношению щелочей все породы интрузии характеризуются натриевым типом щелочности — n равно в 70—87 ат. %¹. Кроме того, породы массива характеризуются низкой и умеренной общей железистостью ($Fe\#$, ат. %): в нефелиновых клинопироксенитах — 23—34, в нефелиновых габброидах — 46—50, в малиньитах — 43—54, в нефелиновых сиенитах — 54—59.

По своим петрохимическим характеристикам породы интрузии сходны с нефелиновыми пироксенитами и нефелиновыми габбро Тикшеозерского и Еletzозерского массивов (Кухаренко и др., 1971; Клюкин и др., 1987) и отли-

¹ $n = 100 \cdot Na_2O / (Na_2O + K_2O)$ — тип щелочности (ат. %) по М. И. Дубровскому (2002).

чаются от высокожелезистых (Fe# = 60—93 ат. %) пород серии жаупирангит—мельтейгит—ийолит—уртит—нефелиновый сиенит массива Гремяха-Вырмес (Арзамасцев и др., 2006).

ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ И ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Для определения возраста формирования массива нижнего течения р. Иоканьга из образца нефелинового клинопироксенита был выделен флогопит и затем проанализирован $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом в Аналитическом центре ОИГТМ СО РАН г. Новосибирска. Изотопные $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ исследования флогопита из нефелиновых клинопироксенитов показали их раннепротерозойский возраст, равный 1955 ± 10.8 млн лет (рис. 3).

Проведенные Rb-Sr изотопные исследования в Лаборатории геохронологии ГИ КНЦ РАН г. Апатиты показали, что изохронная Rb-Sr зависимость по всей совокупности образцов пород интрузии отвечает возрасту 1937 млн лет, при $I_{\text{Sr}} = 0.70316$.

Все полученные возрастные данные для массива нижнего течения р. Иоканьга согласуются с возрастными формирования известными в Карело-Кольской щелочной провинции раннепротерозойских щелочных массивов: Гремяха-Вырмес — 1.97—1.87 млрд лет, Елетьозеро — 1.96—1.83 млрд лет, Тикшеозеро — 2.00—1.87 млрд лет, Соустова — 1.87 млрд лет (Саватенков и др., 1998; Беляцкий и др., 2000; Вурсий и др., 2000; Bea et al., 2001; Арзамасцев и др., 2006; Tichomirowa et al., 2006; Corfu et al., 2011).

Проведенные Sm-Nd и Rb-Sr изотопные исследования пород массива нижнего течения р. Иоканьга показали, что их модельные Sm-Nd значения возраста равны $t_{\text{DM}} = 2.24—2.54$ млрд лет (табл. 2) и укладываются в интервал

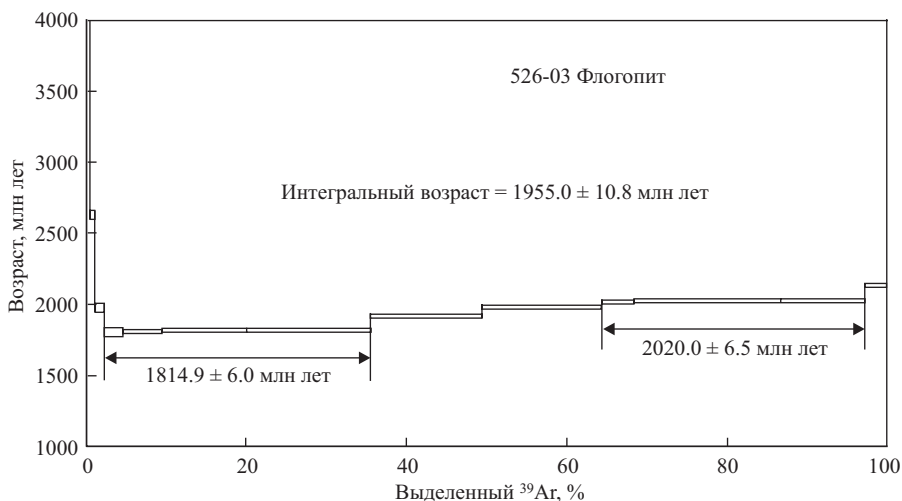


Рис. 3. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ исследований методом ступенчатого прогрева монофракций флогопита из нефелиновых клинопироксенитов щелочно-ультраосновного массива нижнего течения р. Иоканьга.

Fig. 3. Results of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ studies by step-by-step heating of phlogopite monofractions from nepheline clinopyroxenites alkaline-ultramafic massif in lower reaches the Iokanga River.

**Sm-Nd изотопные данные для пород щелочно-ультраосновного массива
нижнего течения р. Иоканьга**

Sm-Nd isotopic data for rocks of the alkaline-ultrabasic massif in lower reaches the Iokanga River

Номер образца	Содержание, ppm		Изотопные отношения		Модельный возраст (млн лет), DM	$\epsilon_{Sr}(T)$ на 1955 млн лет
	Sm	Nd	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$		
524—03	54.58	15.08	0.130304	0.511862	2348	+1.54
525—03	52.43	14.44	0.131740	0.511779	2542	-0.45
526—03	50.97	14.47	0.131283	0.511810	2471	+0.27
518—03	47.36	8.39	0.145189	0.512007	2536	+0.62
544—03	42.71	6.12	0.118075	0.511646	2390	+0.39
527—03	14.99	6.90	0.109069	0.511575	2288	+1.27
528—03	33.06	8.35	0.108648	0.511602	2240	+1.90

модельных возрастов 2.12—2.61 млрд лет, всех выше перечисленных ранне-протерозойских щелочных массивов Карело-Кольской щелочной провинции. Изотопные составы стронция ($^{87}Sr/^{86}Sr$)_{T=1955 млн лет} для всех разновидностей пород массива сходны и варьируют в пределах: 0.70309—0.70383 в нефелиновых клинопироксенитах; 0.70230—0.70369 в нефелиновых габброидах; 0.70264 в нефелиновых сиенитах. Эти изотопные отношения Sr указывают на мантийное происхождение пород массива и на минимальное участие в их образовании корового материала.

Изотопные Sr-Nd характеристики $\epsilon_{Nd} = -0.45—+1.90$ и $\epsilon_{Sr} = +2.69—+24.46$ пород массива близки изотопным характеристикам пород Тикшеозерского массива и щелочного комплекса Гремяха-Вырмес (рис. 4). Провести такое же

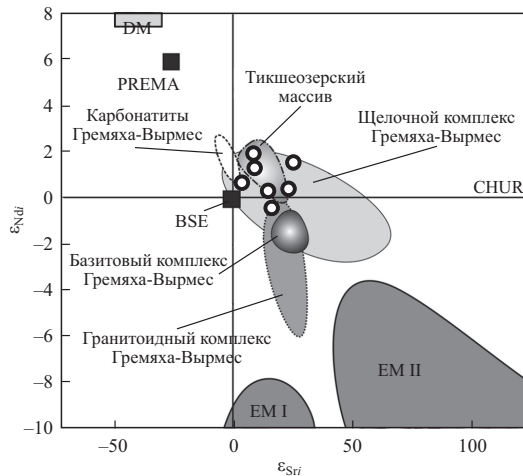


Рис. 4. Диаграмма ϵ_{Nd} — ϵ_{Sr} для пород щелочно-ультраосновного массива нижнего течения р. Иоканьга.

DM — обедненная мантия, PREMA — примитивная мантия, BSE — силикатная Земля в целом, CHUR — однородный хондритовый резервуар, EM I — обогащенная мантия первого типа, EM II — обогащенная мантия второго типа.

Fig. 4. The ϵ_{Nd} — ϵ_{Sr} diagram for rocks of the alkaline-ultramafic massif in lower reaches the Iokanga River. DM — depleted mantle, PREMA — primitive mantle, BSE — bulk silicate Earth, CHUR — chondritic uniform reservoir, EM I — enriched mantle type I, EM II — enriched mantle type II.

сравнение с породами Елетьезерского массива не представляется возможным из-за отсутствия в литературе данных по их Sr-Nd изотопии. Породы массива Соустова обладают крайне аномальными изотопными характеристиками $\epsilon_{\text{Sr}} = +196$ — $+299$, $\epsilon_{\text{Nd}} = -1.59$ — $+1.72$ (Bea et al., 2001) и, соответственно, их точки лежат далеко за пределами приведенной диаграммы.

Сходство изотопных характеристик пород щелочно-ультраосновного массива нижнего течения р. Иоканьга с изотопными характеристиками пород массивов Гремяха-Вырмес и Елетьезеро позволяет предположить, что источником расплава для него, также как и для массивов Гремяха-Вырмес и Елетьезеро, являлась, по-видимому, мантия близкая по составу BSE.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Щелочно-ультраосновной массив нижнего течения р. Иоканьга сложен нефелиновыми клинопироксенитами, нефелиновыми габброидами, малиньитами и нефелиновыми сиенитами.

Время кристаллизации нефелиновых клинопироксенитов определено $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом по флогопиту и равно 1955 ± 10.8 млн лет, а изохронная Rb-Sr зависимость по всей совокупности образцов пород интрузии отвечает возрасту 1937 млн лет. Эти данные позволяют сделать вывод о том, что изученный интрузив сформировался во время свекофенской тектономагматической активизации северо-восточной части Фенноскандинавского щита в одном временном интервале с другими палеопротерозойскими щелочными комплексами Карело-Кольской щелочной провинции.

Согласно своим изотопно-геохимическим Sm-Nd и Rb-Sr характеристикам породы щелочно-ультраосновного массива нижнего течения р. Иоканьга имеют мантийное происхождение, а источником их расплавов, по-видимому, являлась мантия типа BSE.

Определенные изотопно-геохимические характеристики указывают на близость составов мантийных резервуаров продуцировавших расплавы как для массива нижнего течения р. Иоканьга, так и для других палеопротерозойских щелочных комплексов Карело-Кольской щелочной провинции. Это позволяет утверждать, что уже к рубежу 1.9 млрд лет в сублитосферной мантии региона, охватывающего Северную Карелию и Кольский п-ов, сформировались области метасоматизированного мантийного субстрата, обогащенного щелочами и несовместимыми элементами (LILE, HFSE, REE), способные продуцировать щелочные расплавы.

Авторы выражают благодарность А. А. Арзамасцеву (ИГГД РАН) за помощь в $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ определении возраста кристаллизации нефелиновых клинопироксенитов.

Список литературы

Арзамасцев А. А., Беа Ф., Арзамасцева Л. В., Монтеро П. Протерозойский полифазный массив Гремяха-Вырмес, Кольский полуостров: пример смешения базитовых и щелочных мантийных расплавов // Петрология. 2006. № 4. С. 384—414.

Арзамасцев А. А., Федотов Ж. А., Арзамасцева Л. В. Дайковый магматизм северо-восточной части Балтийского щита. СПб.: Наука, 2009. 383 с.

Батиева И. Д. Петрология щелочных гранитоидов Кольского полуострова. Л.: Наука, 1976. 224 с.

Беляцкий Б. В., Тихомирова М., Савва Е. В. Возраст и генезис протерозойского щелочно-ультраосновного Тикшеозерского массива (Северная Карелия): результаты Pb-Sr-Nd изотопных исследований / Изотопное датирование геологических процессов: новые методы и результаты. Тезисы докладов I Росс. конф. по изотопной геохронологии. М.: ГЕОС, 2000. С. 63—65.

Вурсий Г. Л., Баянова Т. Б., Левкович Н. В. Структура и возраст гипербазит-базитового плутона Гремяха-Вырмес / Изотопное датирование геологических процессов: новые методы и результаты. Тезисы докладов I Росс. конф. по изотопной геохронологии. М.: ГЕОС, 2000. С. 99—100.

Дубровский М. И. Комплексная классификация магматических горных пород. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. 234 с.

Клюкин С. Ф., Сафронов Г. П., Белобородов В. И. Новые рудопроявления апатита Северной Карелии / Геология и минералогия месторождений апатита Кольского полуострова. Апатиты: КФАН СССР, 1987. С. 37—43.

Кухаренко А. А., Буллах А. Г., Ильинский Г. А. и др. Металлогенические особенности щелочных формаций восточной части Балтийского щита // Тр. Ленингр. общ-ва естествоиспытателей. Т. 72. № 2. Л.: Недра, 1971. 280 с.

Петровский М. Н., Баянова Т. Б., Петровская Л. С., Базай А. В. Мезопротерозойская перидотит-шонкинитовая серия — новый тип внутриплитного магматизма Кольской щелочной провинции // Докл. РАН. 2014. Т. 457. № 4. С. 439—444.

Петровский М. Н., Митрофанов Ф. П., Петровская Л. С., Баянова Т. Б. Новый массив архейских щелочных сиенитов в Мурманском домене Кольского полуострова // Докл. РАН. 2009. Т. 424. № 1. С. 89—93.

Петровский М. Н., Петровская Л. С. Неоархейские интрузивные массивы шошонитовой серии в Кольской щелочной провинции: история изучения и геологическая характеристика / Тр. Ферсмановской научн. сессии ГИ КНЦ РАН. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2017. С. 150—155.

Петровский М. Н., Петровская Л. С., Базай А. В. Палеозойский основной-ультраосновной магматизм нижнего течения р. Иоканьга, Кольский полуостров / Тр. II Ферсмановской научн. сессии Кольского отд. РМО, посвященной 140-летию со дня рождения В. Рамзая. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. 2005. С. 137—140.

Петровский М. Н., Петровская Л. С., Баянова Т. Б., Левкович Н. В. Эндербиты района Гремяхи Мурманского архейского домена: U-Pb и Sm-Nd данные // Докл. РАН. 2008. Т. 418. № 1. С. 90—94.

Саватенков В. М., Сулимов Р. Б., Сергеев А. В., Гончаров Г. Н., Пушкарев Ю. Д. Sm-Nd, Rb-Sr, Pb-Pb изотопные систематики базит-гипербазитов в массиве Гремяха-Вырмес: роль корово-мантийного взаимодействия при магмогенерации и рудообразовании // ЗВМО. 1998. № 5. С. 15—25.

Строение литосферы российской части Баренц-региона / Под ред. Н. В. Шарова, Ф. П. Митрофанова, М. Л. Вербы, К. Гиллена. Петрозаводск, 2005. 318 с.

References

Arzamastsev A. A., Bea F., Arzamastseva L. V., Montero P. Proterozoic Gremyakh-Vyrmes polyphase massif, Kola Peninsula: an example of mixing basic and alkaline mantle melts. *Petrology*. 2006. Vol. 14. N 4. P. 384—414 (in Russian).

Arzamastsev A. A., Fedotov G. A., Arzamastseva L. V. Dyke magmatism of the north-eastern part of the Baltic Shield. Saint Petersburg: Nauka, 2009. 383 p. (in Russian).

Arzamastsev A. A., Petrovskiy M. N. Alkaline Volcanism in the Kola Peninsula, Russia: Paleozoic Khibiny, Lovozero and Kontozero calderas. *Proc. of the MSTU*. 2012. Vol. 15. N 2. P. 277—299.

Batieva I. D. Petrology of alkaline granitoids of the Kola Peninsula. Leningrad: Nauka, 1976. 224 p. (in Russian).

Bea F., Arzamastsev A., Montero P., Arzamastseva L. Anomalous alkaline rocks of Soustov, Kola: evidence of mantle-derived metasomatic fluids affecting crustal materials. *Contrib. Miner. Petrol*. 2001. Vol. 140. P. 554—566.

Belyatsky B. V., Tichomirowa M., Savva E. V. Age and genesis of the Proterozoic alkaline-ultra-basic Tikshozero massif (North Karelia): the results of Pb-Sr-Nd isotope studies. In: *Isotope dating of geological processes: new methods and results. Abstracts of the First Russian Conference on Isotope Geochronology*. Moscow: GEOS, 2000. P. 63—65 (in Russian).

Corfu F., Bayanova T. B., Shchiptsov V., Frantz N. U-Pb ID-TIMS age of the Tikshezero carbonatite: expression of 2.0 Ga alkaline magmatism in Karelian, Russia. *Cent. Eur. J. Geosci.* **2011**. N 3. P. 302—308.

Dubrovskiy M. I. Complex classification of magmatic rocks. Apatity: KSC RAS, **2002**. 234 p. (in Russian).

Klyukin S. F., Safronov G. P., Beloborodov V. I. New ore occurrences of apatite of North Karelia. In: *Geology and mineralogy of apatite deposits of the Kola Peninsula*. Apatity: KFAN USSR, **1987**. P. 37—43 (in Russian).

Kukhareenko A. A., Bullach A. G., Ilyinsky G. A. et al. Metallogenic features of alkaline formations of the eastern part of the Baltic shield. *Proc. Leningrad Society of Naturalists*. Vol. 72. N 2. Leningrad: Nedra, **1971**. 280 p. (in Russian).

Petrovskiy M. N., Bayanova T. B., Petrovskaya L. S., Bazay A. V. Mesoproterozoic peridotite-shonkinite series: A new type of intraplate magmatism in the Kola alkaline province. *Doklady Earth Sci.* **2014**. Vol. 457. P. 915—920.

Petrovskiy M. N., Mitrofanov F. P., Petrovskaya L. S., Bayanova T. B. New massif of Archean alkaline syenites in the Murmansk domain of the Kola Peninsula. *Doklady Earth Sci.* **2009**. Vol. 424. N 1. P. 77—81.

Petrovskiy M. N., Petrovskaya L. S. Neo-Archean intrusive massifs of the Shoshonite series in the Kola Alkaline Province: history of study and geological characteristics. *Proc. Fersman Sci. Session of the GI KSC RAS*. Apatity: KSC RAS, **2017**. P. 150—155 (in Russian).

Petrovskiy M. N., Petrovskaya L. S., Bazay A. V. Paleozoic basic-ultrabasic magmatism of the lower reaches of the Iokanga River, Kola Peninsula. *Proc. of the II Fersman Sci. Session of the Kola Branch of the RMS devoted to the 140th anniversary of V. Ramzai*. Apatity: KSC RAS, **2005**. P. 137—140 (in Russian).

Petrovskiy M. N., Petrovskaya L. S., Bayanova T. B., Levkovich N. V. Enderbites of the Gremikha area, Murmansk domain: U—Pb and Sm—Nd data. *Doklady Earth Sci.* **2008**. Vol. 418. N 1. P. 76—80.

Savatenkov V. M., Sulimov R. B., Sergeev A. V., Goncharov G. N., Pushkarev Yu. D. Sm-Nd, Rb-Sr and Pb-Pb isotope systematics of basites-ultrabasites in Gremiakha-Vyrmes massif: implication for the role of crust-mantle interaction while the magma generation and Ti-ore-forming process. *Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.)*. **1998**. N 5. P. 15—25 (in Russian).

Structure of lithosphere in the Russian Part of the Barents Region. Ed. by N. V. Sharov, F. P. Mitrofanov, M. L. Verba, and K. Gillen. Petrozavodsk, **2005**. 318 p. (in Russian).

Tichomirowa M., Grosche G., Gotze J., Belyatsky B. V., Savva E. V., Keller J., Todt W. The mineral isotope composition of two Precambrian carbonatite complex from the Kola Alkaline Province — Alteration versus primary magmatic signatures. *Lithos*. **2006**. Vol. 91. P. 229—249.

Vursiy G. L., Bayanova T. B., Levkovich N. V. Structure and age of the hyperbasite-basite pluton Gremyakha-Vyrmes. In: *Isotope dating of geological processes: new methods and results. Abs. First Russian Conf. on Isotope Geochronology*. Moscow: GEOS, **2000**. P. 99—100 (in Russian).

Поступила в редакцию
20 июня 2018 г.