

УДК 552.163

Морфология циркона и изотопное U-Pb и Sm-Nd датирование пород Канозерского массива щелочных гранитов (Кольский регион)

Е. А. Ниткина*, П. А. Серов

*Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия;
e-mail: nitkina@geoksc.apatity.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7242-1950>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
18.01.2022;
получена
после доработки
22.02.2022

Ключевые слова:

U-Pb датирование,
минералогия
циркона,
щелочные граниты
Кольского региона,
архейские комплексы
Балтийского щита

Проведено U-Pb датирование циркона и Sm-Nd датирование пород и вторичных минералов из Канозерского массива щелочных гранитов Кольского региона Фенноскандинавского щита. Возраст щелочных гранитов Канозерского массива, определенный по циркону, составляет 2667 ± 36 млн лет, аплитовидных щелочных гранитов – 2301 ± 13 млн лет, бластомилонитов по ним – 2264 ± 12 млн лет. По габитусу кристаллов оценена температура кристаллизации циркона. По морфологии циркона из щелочных гранитов и бластомилонитов установлены условия кристаллизации Канозерского массива из богатых летучими элементами и щелочами длительно охлаждавшихся высокотемпературных корово-мантийных расплавов. Минеральная Sm-Nd изохрона, построенная по породе и вторичным минералам – биотиту и титаниту, имеет возраст 1921 ± 53 млн лет, который интерпретируется как время регионального свекофенского метаморфизма. Основываясь на полученных изотопных данных, можно отметить, что породы Канозерского массива щелочных гранитов имеют сходные черты образования и преобразования со щелочными гранитами Кейвского террейна.

Для цитирования

Ниткина Е. А. и др. Морфология циркона и изотопное U-Pb и Sm-Nd датирование пород Канозерского массива щелочных гранитов (Кольский регион). Вестник МГТУ. 2022. Т. 25, № 1. С. 50–60. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2022-25-1-50-60>.

Zircon morphology and isotope U-Pb and Sm-Nd dating the rocks of the Kanozero alkaline granite massif (the Kola region)

Elena A. Nitkina*, Pavel A. Serov

*Geological Institute KSC RAS, Apatity, Murmansk region, Russia;
e-mail: nitkina@geoksc.apatity.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7242-1950>

Article info

Received
18.01.2022;
received
in revised form
22.02.2022

Key words:

U-Pb dating,
zircon mineralogy,
alkaline granites
of the Kola region,
Archean complexes
of the Baltic Shield

Abstract

The U-Pb dating zircon and Sm-Nd dating the whole rock and secondary minerals from the Kanozero massif of alkaline granites of the Kola region (the Fennoscandian shield) have been carried out. The age of alkaline granites of the Kanozero massif by zircon is 2667 ± 36 Ma, aplite-like alkaline granites – 2301 ± 13 Ma and blastomylonites – 2264 ± 12 Ma. The crystallization temperature of zircon has been estimated from the crystal habit. According to the zircon morphology of alkaline granites and blastomylonites the conditions during the crystallization process of the Kanozero massif have been established as long-term cooling high-temperature volatile- and alkali-rich crustal-mantle melts. The mineral Sm-Nd isochron by whole rock and by secondary minerals – biotite and titanite – has an age of 1921 ± 53 Ma interpreted as the time of regional Svecofene metamorphism. Based on the obtained isotopic data it can be noted that the rocks of the Kanozero massif of alkaline granites have similar features of formation and transformation with alkaline granites of the Keivsky terrane.

For citation

Nitkina, E. A. et al. 2022. Zircon morphology and isotope U-Pb and Sm-Nd dating the rocks of the Kanozero alkaline granite massif (the Kola region). *Vestnik of MSTU*, 25(1), pp. 50–60. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2022-25-1-50-60>.

Введение

Древнейшими породами в пределах Фенноскандинавского щита являются биотитовые и амфиболовые гнейсы комплекса тоналит-грандьеит-гранодиоритов с подчиненными им пластовыми телами рассланцованных полевошпатовых амфиболитов (*Батиева, 1958*).

Архейский щелочной магматизм в пределах Фенноскандинавского щита представлен щелочносиенит-карбонатитовым комплексом Сиилинъярви (Финляндия), а также массивами Кейвской провинции щелочных гранитов: Понойским с возрастом 2751 ± 41 млн лет и 2759 ± 36 млн лет, Западно-Кейвским с возрастом 2674 ± 6 млн лет, Белые тундры с возрастом 2654 ± 5 млн лет и Сахарийок с возрастом щелочных и нефелиновых сиенитов, соответственно, 2682 ± 10 млн лет и 2613 ± 35 млн лет (*Пушкарев, 1990; Eby, 1990; Zozulya et al., 2001; Архейский..., 2002; Balagansky et al., 2021; Баянова, 2004; Ветрин и др., 2014; Ветрин, 2019; Zakharov et al., 2022*). Можно отметить, что модельные Sm-Nd возраста для щелочных гранитов Кейвского террейна находятся в интервале 2,9–2,8 млрд лет, характеризуются отрицательными метками по ϵNd от -1 до -4 и относятся к А-типу внутриплитных гранитов (*Zozulya et al., 2001*), которые знаменуют переход от орогенных стадий к посторогенным (*Eby, 1990; Balagansky et al., 2021* и ссылки в работе). В ильмените из щелочных гранитов Понойского массива отношение He_3/He_4 равно $0,7 \times 10^{-6}$ и отражает мантийный источник формирования пород (*Ветрин и др., 2001*).

Ранее считалось, что для Канозерского массива гранито-гнейсы и бластомилониты являются протерозойскими образованиями. По ним были получены следующие данные: Rb-Sr метод датирования – 2,36 млрд лет (*Щелочные граниты..., 1990*), Pb-Pb метод датирования – 2,36 млрд лет (*Пушкарев, 1990*). На Кольском полуострове сходные с Канозерскими щелочные граниты с пегматитовыми жилами присутствуют в Кейвской структуре, возраст пород которой определен U-Pb методом датирования более древним, чем 2,6 млрд лет (*Bayanova et al., 1999*). Учитывая тот факт, что в лаборатории геохронологии и изотопной геохимии Геологического института КНЦ РАН на данный момент используется метод определения изотопного возраста, отличный от применяемого для предыдущего датирования, для уточнения возраста Канозерского массива были отобраны пробы из щелочных гранитов и бластомилонитов по ним. Предварительные данные датирования пород из Канозерского щелочного массива (*Ниткина и др., 2004*) дали возможность предположить, что массив попадает во временной интервал формирования архейского щелочного магматизма от 2750 до 2610 млн лет.

Данное исследование посвящено изучению морфологических особенностей циркона и установлению температурных интервалов его кристаллизации, а также изотопному U-Pb и Sm-Nd датированию разновозрастных пород Канозерского массива щелочных гранитов.

Геологическая характеристика массива

Канозерский массив щелочных гранитов расположен на северо-востоке Фенноскандинавского щита в пределах Беломорского мобильного пояса (рис. 1, а) и представляет собой геологическое тело, вытянутое в северо-западном направлении (рис. 1, б). Площадь массива щелочных и аплитовидных гранитов с небольшими опережающими массивами, сложенными бластомилонитами по ним, составляет примерно 170 км² (*Батиева, 1958*). Массив прорывается жилами амазонитовых пегматитов с U-Pb возрастом 1682 ± 10 млн лет (данные по циркону – *Bayanova et al., 1999*). Вмещающими породами являются архейские биотитовые и амфиболовые гнейсы, гранатовые амфиболиты.

Центральная часть Канозерского массива щелочных гранитов сложена преимущественно среднезернистыми щелочными гранитами (рис. 1, б). Породы в обнажениях имеют линейную текстуру, подчеркнутую темноцветными минералами (рис. 2). Породы сложены (рис. 3) кварцем (20–25 %), микроклином (40–55 %), плагиоклазом (10–15 %); в меньшем количестве развиты феррогастингсит (до 5 %) и биотит (до 10 %). Акцессорные минералы представлены апатитом, титанитом, цирконом, флюоритом и магнетитом. В шлифах для щелочных гнейсогранитов характерна аллотриоморфнозернистая структура. Феррогастингсит развивается ксеноморфно между зернами полевых шпатов и кварца, образуя кучные скопления призматических зерен, ориентированных согласно гнейсовидности породы (рис. 4). Идиоморфизм в наибольшей степени выражен у микроклина, образующего гипидиоморфные, преимущественно изометрично развитые зерна. Наиболее обычным является образование титанита совместно с магнетитом при замещении эгирин-авгита феррогастингситом и феррогастингсита – биотитом.

Массив, сложенный бластомилонитами по щелочным гранитам, расположен западнее Канозерского на берегу оз. Черная Ламба (рис. 1, б). Породы в обнажениях имеют серо-розовый цвет и плоско-параллельную текстуру (рис. 2). В образцах бластомилониты характеризуются наличием выраженной линейности, которая определяется сростками эгирин-авгита и гиперстена. Порода состоит главным образом из кварца (25–30 %), плагиоклаза (15–20 %), микроклина (45–55 %), эгирин-авгита (до 5 %) и гиперстена (до 5 %). Акцессорные минералы представлены цирконом, апатитом, титанитом, флюоритом и магнетитом. В шлифах аплитовидный гранит с милонитовой и гранопорфирокластовой структурой отличается интенсивной раздробленностью зерен основной массы, в которой сохраняются относительно крупные порфировидные зерна микроклина и происходит послынное обособление темноцветных минералов (рис. 4).

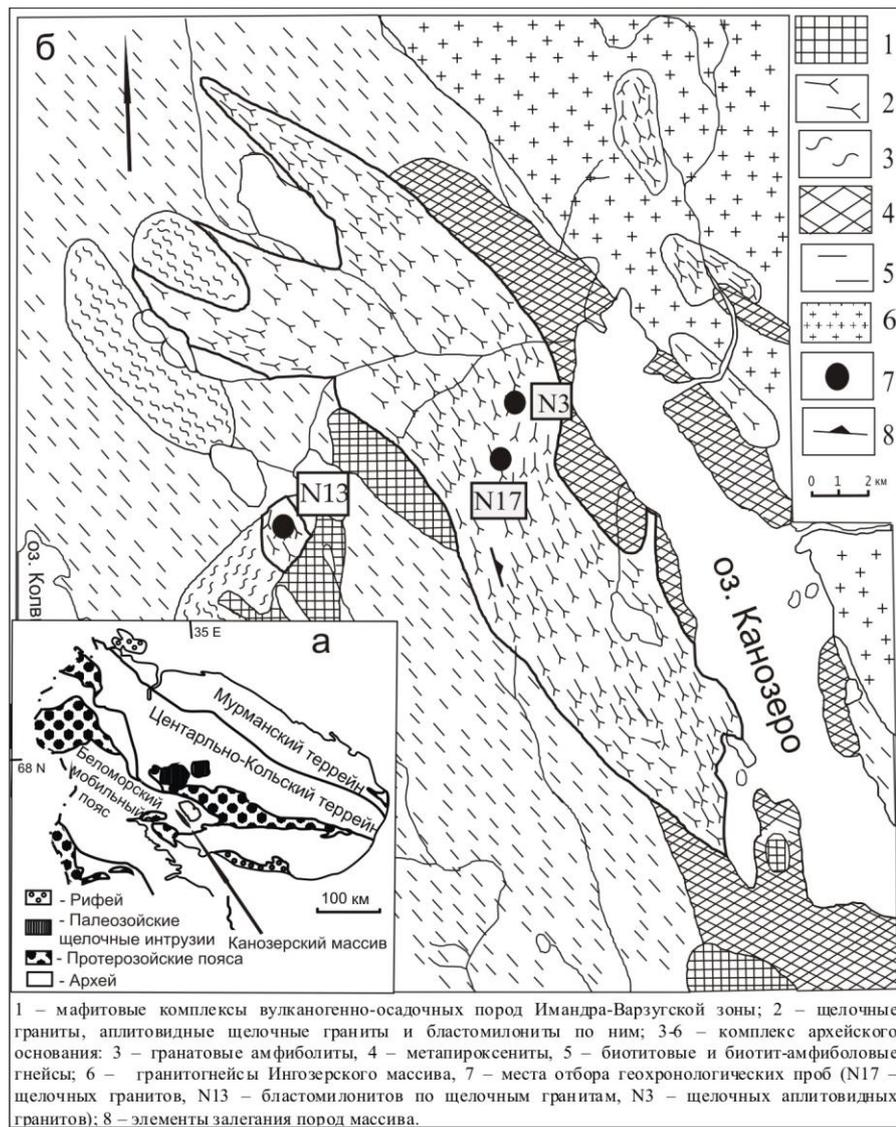


Рис. 1. Геологическая схема: *a* – Кольского региона по (Балаганский, 2002);
б – района Канозеро-Колвицкого озера по (Батиева, 1958)
 Fig. 1. Geological map: *a* – the Kola region by (Balagansky, 2002);
б – the Kanozero-Kolvitska area by (Batieva, 1958)

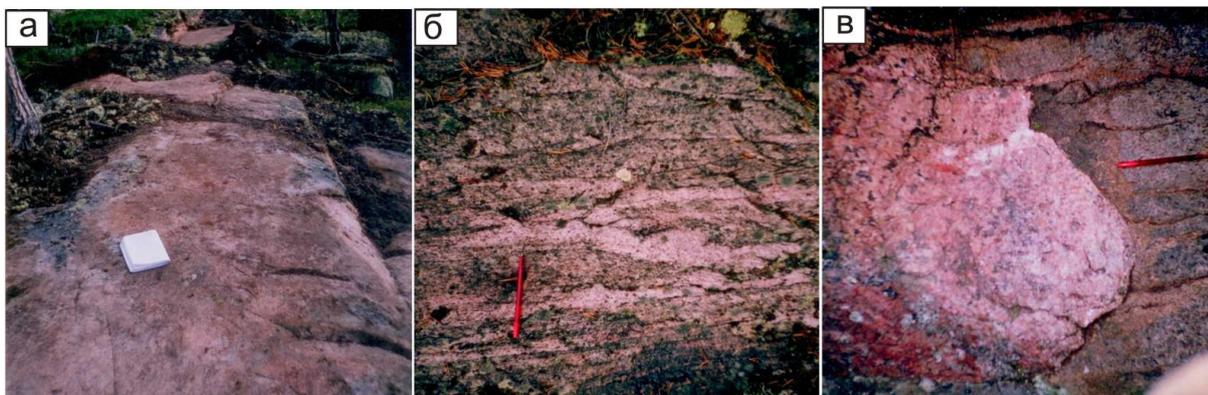


Рис. 2. Фото обнажений пород Канозерского массива щелочных гранитов:
a – N17 щелочных гранитов; *б* – N13 blastsмилолитов по щелочным гранитам;
в – N3 щелочных аплитовидных гранитов

Fig. 2. Outcrops photo: *a* – N17 alkaline granites; *б* – N13 blastomylonites; *в* – N3 aplite-like alkaline granites

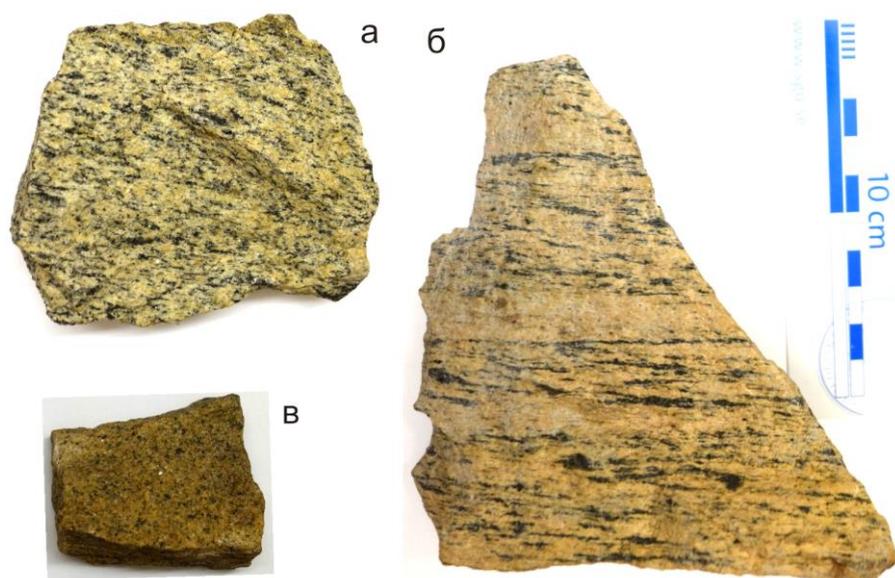


Рис. 3. Фото образцов из Канозерского массива: *a* – N17 щелочных гранитов; *б* – N13 бластомилонитов по щелочным гранитам; *в* – N3 щелочных аплитовидных гранитов (масштабная линейка указана для рисунков *a*, *б*, *в* с учетом пропорций образцов)
Fig. 3. Samples photo: *a* – N17 alkaline granites; *b* – N13 blastomylonites; *c* – N3 aplite-like alkaline granites

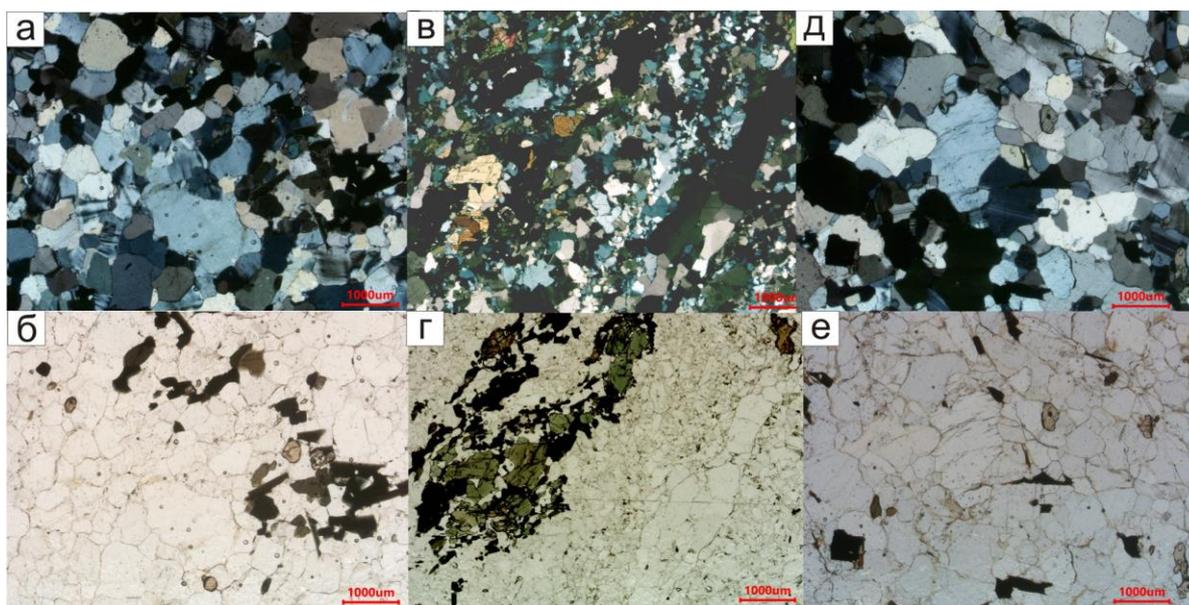


Рис. 4. Фотографии комбинированных шлифов пород, отобранных для исследования: N17 щелочной гранит: *a* – николи скрещены; *б* – николи параллельны; N13 бластомилонит: *в* – николи скрещены; *г* – николи параллельны; N3 аплитовидный гранит: *д* – николи скрещены; *е* – николи параллельны
Fig. 4. Thin sections' photo of the samples: N17 alkaline granites: *a* – crossed nicols; *б* – parallel nicols; N13 blastomylonites: *в* – crossed nicols; *г* – parallel nicols; N3 aplite-like alkaline granites: *д* – crossed nicols; *е* – parallel nicols

Щелочные аплитовидные граниты, состоящие из кварца (20–25 %), микроклина (45–55 %), плагиоклаза (15–20 %) с небольшим содержанием биотита (5–10 %) и феррогастингсита (до 5 %), представлены в восточной части Канозерского массива (рис. 1, б). Породы в обнажениях имеют серовато-розовый цвет (рис. 2) и мелкозернистую структуру (рис. 3). Акцессорные минералы представлены эпидотом, апатитом, цирконом, флюоритом, гематитом, с заметно меньшим содержанием магнетита, титанита, ортита. В шлифах аплитовидные граниты имеют аллотриоморфную неравномернозернистую и гранобластовую структуру (рис. 4), характеризующуюся наличием ксеноморфных зерен кварца, микроклина и плагиоклаза, при этом биотит выделяется в форме удлиненных таблиц.

Химические составы приведены в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав пород Канозерского массива: N17 щелочных гранитов, N13 бластомилонитов по щелочным гранитам, N3 щелочных аплитовидных гранитов
Table 1. Chemical composition of N17 alkaline granites; N13 blastomylonites; N3 aplite-like alkaline granites

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
N3	73,00	0,28	11,67	1,05	2,93	0,06	0,08	0,9	3,65	5,51
N13	71,50	0,49	11,98	1,14	3,94	0,11	0,23	1,31	3,50	4,82
N17	69,75	0,41	11,25	2,74	3,98	0,12	0,27	1,88	3,63	5,30

Аналитические методы

На изотопное U-Pb и Sm-Nd датирование, а также для исследования морфологических особенностей кристаллов циркона из Канозерского массива щелочных гранитов были отобраны пробы (рис. 1, 2) щелочных гранитов (N17) весом 20 кг, бластомилонитов (N13) весом 20 кг и щелочных аплитовидных гранитов (N3) весом 15 кг.

Типы циркона выделялись при исследовании в мономинеральном концентрате под бинокляром – 100 зерен циркона в каждой пробе, где определялись габитус, развитые грани и цвет циркона. Для определения температуры кристаллизации циркона использовалась классификационная диаграмма морфотипов циркона (рис. 5) (Pupin et al., 1981) в зависимости от скорости остывания (индекс Т) и отношения щелочность/глиноземистость среды образования (индекс А). Изменение соотношений граней дипирамид приведено по горизонтальной оси и зависит от изменений химического состава среды; вариации соотношений граней призм нанесены по вертикальной оси и отражают скорость кристаллизации и содержание воды. Методика дает хорошие результаты при применении в работах (например, Хабибулина, 2001; Мосстафа, 2019).

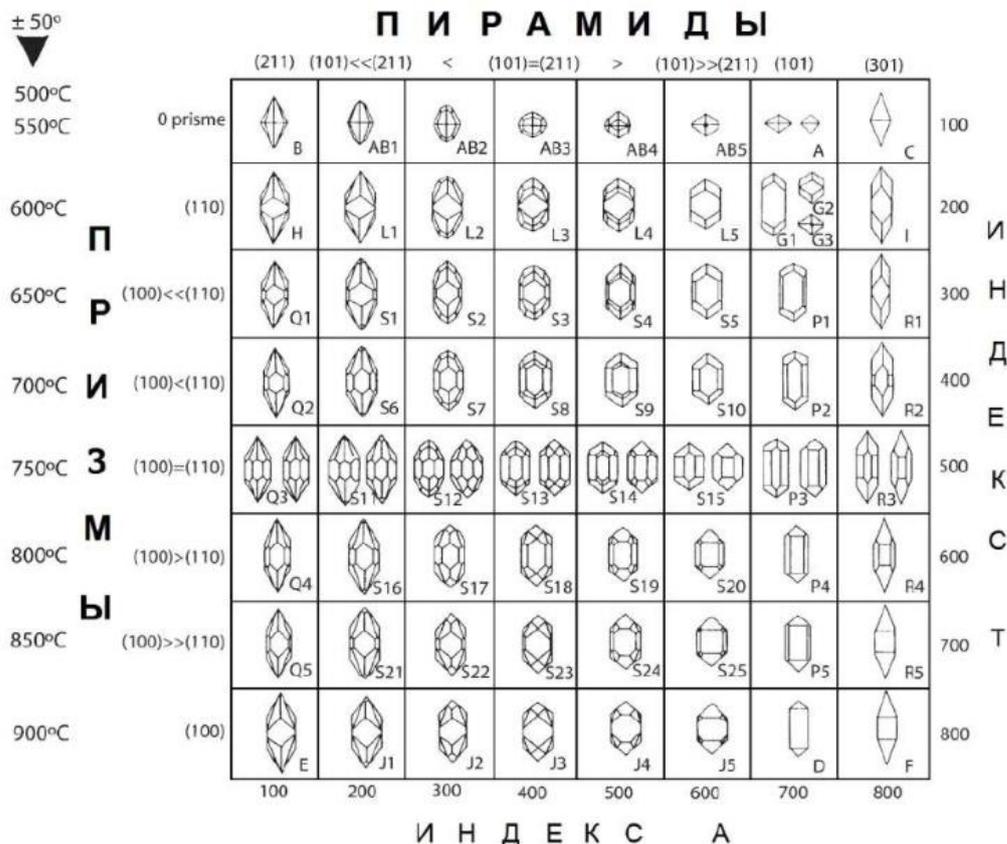


Рис. 5. Классификационная диаграмма морфотипов циркона (Pupin et al., 1981) в зависимости от температуры (индекс Т) и отношения щелочность/глиноземистость среды образования (индекс А)
Fig. 5. Zircon typological classification and corresponding geothermometric scale by Pupin et al. (1981), with depending on temperature (index T) and alkalinity/alumina ratio (index A)

В работе (Pupin et al., 1981) показано, что богатые алюминием магмы соответствуют индексу А от 100 до 400, для щелочных магм индекс А составляет от 500 до 600. В вертикальном направлении применяется соотношение поверхностей призмы {100} и {110}, которое определено как количественная функция термометра – чем больше {100} развивается и {110} отстает, тем выше температура расплава, в котором кристаллизовался циркон.

При нанесении на диаграмму данных по морфотипам циркона получают значения индексов А, Т и температуры кристаллизации, и по ним делают предположение о возможных условиях кристаллизации циркона – температуре, химизме среды и скорости остывания расплавов.

Экстрагирование урана и свинца проводилось по методике *T. Krogh (1973)*. Образцы для Sm-Nd анализа обрабатывали по обычной методике: растворение в HF + HNO₃ при 100 °С с последующим выделением Sm и Nd с использованием метода колоночной ионообменной хроматографии. Измерения проводились на масс-спектрометре Ми 1201-Т в одноленточном режиме. Методики U-Pb и Sm-Nd исследований детально описаны в (*Баяновой, 2004*). Обсчет координат точек и параметров изохрон проводились по работам *K. R. Ludwig (1991; 1999)*. В расчете использовались общепринятые константы распада (*Steiger et al., 1977*).

Результаты и обсуждение

В пробе щелочных гранитов (N17) циркон представлен кристаллами размером 200 мкм с развитыми гранями призмы {110} и дипирамид {111} и {331} (рис. 6). Для циркона установлено следующее процентное соотношение: 60 % – призматические кристаллы ($Ky = 2,5-3,5^1$) и их сростки; 40 – короткопризматические кристаллы ($Ky = 1,6-2,3$). Согласно диаграмме Пюпина и Тюрко (*Pupin et al., 1981*) температура образования циркона дипирамидально-призматического типа соответствует 750 °С (*Косцюк, 2004*), призматического типа с развитием одной призмы {110} – 900 °С, с развитием двух призм {110} и {100} – 850 °С. Индекс А имеет значения от 600 до 700 при диапазоне индекса Т от 200 до 800. Из выделенных типов циркона для изотопного U-Pb датирования выбраны следующие: первый – длиннопризматические кристаллы светло-коричневого цвета и их сростки, второй – короткопризматические кристаллы коричневого цвета, третий – отобрано две навески из длиннопризматических кристаллов светло-коричневого цвета. Фигуративные точки выбранных типов циркона на U-Pb диаграмме с конкордией дают возраст в 2667 ± 36 млн лет, который интерпретируется как время формирования щелочных гранитов (рис. 7, а, табл. 2). Можно отметить, что все цирконы из щелочных гранитов, бластомилонитов и аплитовидных гранитов имеют очень высокие концентрации урана, позволяющие отбирать небольшие навески циркона для датирования. С другой стороны, высокое содержание урана в сочетании с трещиноватостью зерен циркона в щелочном граните приводит к большей дискордантности возрастов.

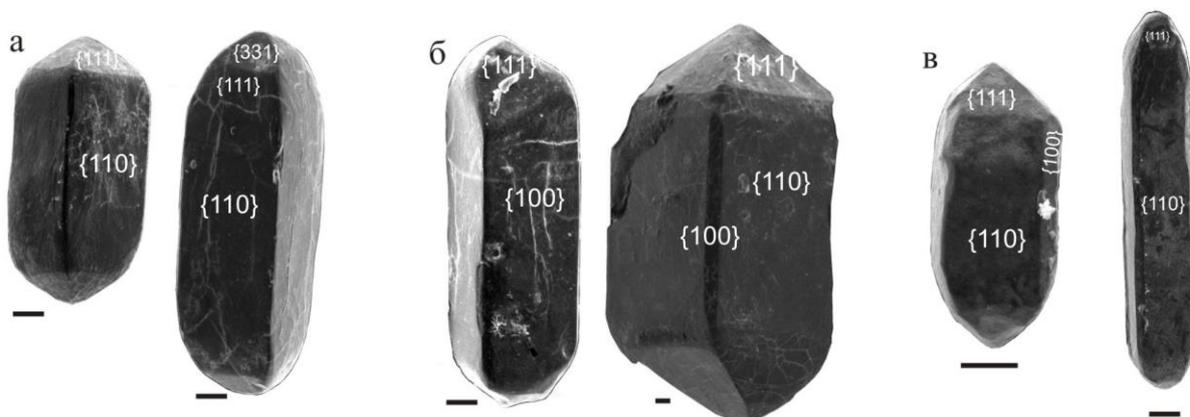


Рис. 6. Фото кристаллов циркона в отраженных электронах с использованием растрового электронного микроскопа из проб: а – N17 щелочных гранитов; б – N13 бластомилонитов по щелочным гранитам; в – N3 щелочных аплитовидных гранитов (линейка на всех фото 30 микрон)

Fig. 6. BSE photo of the zircon using a scanning electron microscope of: а – N17 alkaline granites; б – N13 blastomylonites; в – N3 aplite-like alkaline granites (size of line – 30 mkm)

В мономинеральной фракции циркон в пробе N13 бластомилонитов представлен кристаллами размером 100–200 мкм, образованными гранями призмы {110} и в подчиненном количестве {100}, а также гранями дипирамид {111} и {331} (рис. 6). Для циркона установлено следующее процентное соотношение: 70 % – призматические кристаллы ($Ky = 2,5-3,5$) и их сростки; 30 % – длиннопризматические кристаллы ($Ky = 4-5$). По диаграмме Пюпина и Тюрко (*Pupin et al., 1981*) температура образования циркона призматического типа с развитием одной призмы {110} соответствует 900 °С, с развитием двух призм {110} и {100} – 850 °С. Индекс А имеет значения от 500 до 700 при индексе Т, равном 600–800. Из выделенных типов циркона для U-Pb изотопных исследований отобраны следующие: 1 – коричневые призматические кристаллы, 2 и 3 – призматические светло-коричневые кристаллы. На U-Pb диаграмме по координатам

¹ Ky – коэффициент удлинения.

трех точек рассчитан возраст в 2264 ± 12 млн лет, который соответствует времени проявления наложенных процессов (рис. 7, б, табл. 2).

В мономинеральной фракции в пробе N3 щелочных аплитовидных гранитов циркон представлен (рис. б) кристаллами размерами 100–250 мкм и развитыми гранями призмы {110} и дипирамиды {111}. Для циркона установлено следующее процентное соотношение: 70 % – призматические кристаллы ($Ku = 2,5-3,5$) и их сростки; 30 % – длиннопризматические кристаллы ($Ku = 4-5$). Для изотопных исследований были отобраны четыре типа: 1, 2, 3 – светло-коричневые длиннопризматические кристаллы; 4 – из зерен циркона более темной окраски. По диаграмме Пюпина и Тюрко (*Pupin et al., 1981*) температура кристаллизации циркона призматического типа с развитием одной призмы {110} составляет $900\text{ }^\circ\text{C}$. Четыре фигуративные точки циркона на U-Pb диаграмме дают возраст в 2301 ± 13 млн лет, что интерпретируется временем кристаллизации щелочных аплитовидных гранитов (рис. 7, б, табл. 2).

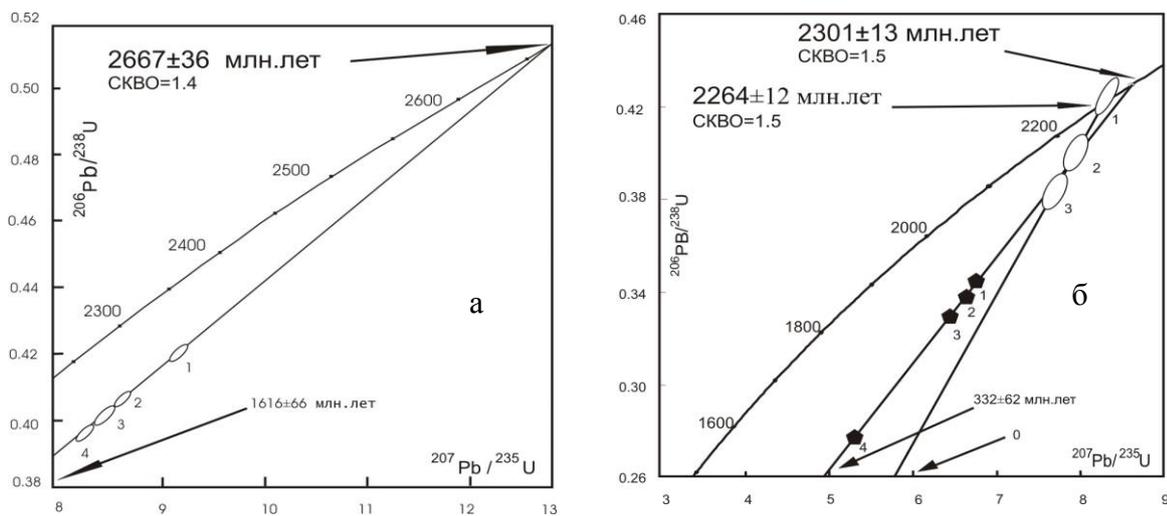


Рис. 7. U-Pb диаграмма с конкордией для циркона из: а – N17 щелочного гранита; б – N13 бластомилонита по щелочному граниту (○) и N3 щелочного аплитовидного гранита (●) из Канозерского массива

Fig. 7. Concordia diagram for: а – N17 alkaline granites; б – N13 blastomylonites (○) and N3 aplite-like alkaline granites (●) of the Kanozero massif

Таблица 2. Изотопные U-Pb данные для циркона из щелочных гранитов, аплитовидных гранитов и бластомилонитов Канозерского массива

Table 2. U-Pb isotope data for zircon of the alkaline granites, blastomylonites, aplite-like alkaline granites

№ п/п	Навеска, мг	Содержание, ppm		Изотопный состав свинца ¹			Изотопные отношения и возраст, млн лет ²			Rho ³
		Pb	U	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{208}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	
Щелочной гранит (проба N17)										
1	0,4	211,2	408,1	500	5,371	4,980	9,1886	0,41949	2444	0,90
3	1,2	111,3	255,7	2 540	6,335	10,250	8,4434	0,40071	2378	0,90
2	0,7	134,2	286,9	1 070	6,009	6,619	8,6657	0,40675	2397	0,90
4	3,8	229,1	532,9	2 600	6,368	10,657	8,3369	0,39732	2371	0,80
Бластомилонит по щелочным гранитам (проба N13)										
1	0,5	264,5	595,8	1 790	6,671	17,393	8,3348	0,42374	2260	0,80
2	2,5	445,5	1 098,3	21 000	6,832	26,984	8,0056	0,39840	2297	0,82
3	0,6	361,7	917,0	7 070	6,788	20,568	7,6771	0,38270	2294	0,83
Щелочной аплитовидный гранит (проба N3)										
1	0,8	396,4	1 063,0	1 180	6,534	9,214	6,6498	0,33929	1883	0,99
2	0,5	301,5	784,2	870	6,335	8,117	6,7529	0,34263	1899	0,84
3	0,6	348,1	943,2	840	6,334	7,790	6,4350	0,32760	1827	0,96
4	0,7	284,8	897,8	700	6,308	6,907	5,2904	0,27630	1572	0,80

Примечание. 1 – все отношения скорректированы на холостое загрязнение 0,2 нг по Pb и 0,04 нг по U и масс-дискриминацию $0,2 \pm 0,05\%$; 2 – коррекция на примесь обыкновенного свинца произведена на возраст по модели Стейси и Крамерса (*Stacey et al., 1975*); 3 – Rho – коэффициент корреляции по осям.

Минеральная Sm-Nd изохрона, построенная по породе и по вторичным минералам – биотиту, титаниту, имеет возраст 1921 ± 53 млн лет (рис. 8, табл. 3), который интерпретируется как время регионального свекофеннского метаморфизма. Модельный Sm-Nd возраст породы равен 2,84 млрд лет, ϵNd , рассчитанное на это время, имеет отрицательное значение $-3,5$, которое очень близко значениям для гранитов Кейвской зоны.

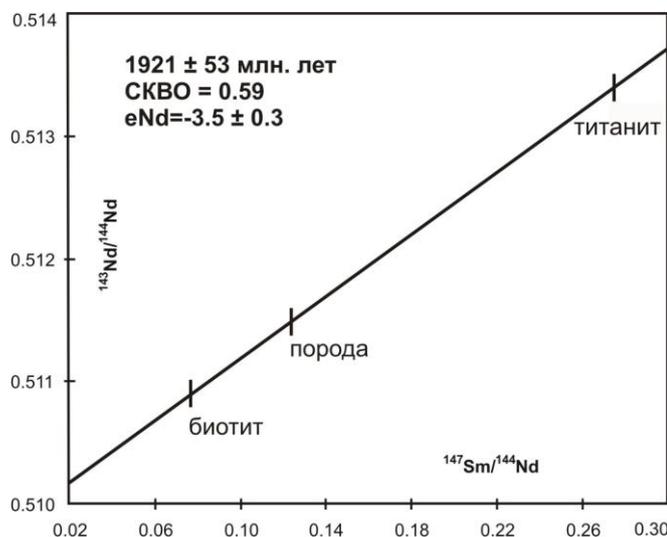


Рис. 8. Sm-Nd изохрона для пород и минералов из щелочного гранита (N17) Канозерского массива
 Fig. 8. Sm-Nd isochron for rock and minerals of alkaline granites (N17) of the Kanozero massif

Таблица 3. Изотопные Sm-Nd данные для породы и минералов из щелочных гранитов (N17) Канозерского массива

Table 3. Sm-Nd isotope data for rock and minerals of alkaline granites (N17) of the Kanozero massif

Образец	Содержание		Изотопные отношения	
	Sm	Nd	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$
Биотит	5,83	44,4	0,0794	$0,510938 \pm 11$
Титанит	1 096,9	2 414	0,2746	$0,513398 \pm 9$
Порода	51,47	250,8	0,1241	$0,511475 \pm 7$

Выводы

По габитусу кристаллов оценена температура кристаллизации циркона. Во всех породах циркон призматического типа с призмой {110} кристаллизовался при температуре $900\text{ }^\circ\text{C}$, с двумя призмами {110} и {100} – при температуре $850\text{ }^\circ\text{C}$. По морфологии циркона из щелочных гранитов и blastsмилонитов установлены индекс А от 500 до 700 и диапазон индекса Т от 200 до 800, что может свидетельствовать об условиях кристаллизации Канозерского массива из богатых летучими элементами и щелочами длительно охлаждавшихся высокотемпературных корово-мантийных расплавов.

Изотопный U-Pb возраст щелочных гранитов из Канозерского массива Фенноскандинавского щита составляет 2667 ± 36 млн лет, аплитовидных щелочных гранитов – 2301 ± 13 млн лет и blastsмилонитов по ним – 2264 ± 12 млн лет. Минеральная Sm-Nd изохрона, построенная по породе и по вторичным минералам – биотиту, титаниту, имеет возраст 1921 ± 53 млн лет, который интерпретируется как время регионального свекофеннского метаморфизма, широко проявленного в северо-восточной части Фенноскандинавского щита. Основываясь на полученных изотопных данных, можно отметить, что породы массива Канозеро сформировались в архейское время и неоднократно подвергались деформациям и региональному метаморфизму во время проявления наложенных процессов при формировании Имандра-Варзугской зоны в раннепротерозойское время (2,30–2,26 млрд лет); а также региональному метаморфизму и пегматитообразованию в свекофеннское время (1,90–1,68 млрд лет), и имеют сходные черты образования и преобразования со щелочными гранитами Кейвского террейна.

Основываясь на полученных изотопных данных, можно отметить, что породы Канозерского массива щелочных гранитов имеют сходные черты образования и преобразования со щелочными гранитами Кейвского террейна, а возрастные U-Pb и Sm-Nd данные увеличивают банк изотопных данных для архейских щелочных гранитов, распространенных на древних щитах континентов.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы НИР АААА-А19-119100290148-4 (FMEZ-2022-0025).

Авторы выражают искреннюю благодарность доктору геол.-минерал. наук А. В. Волошину за детальное и исчерпывающее консультирование по минералогии циркона, Е. Э. Савченко – за выполнение фотографий циркона с использованием растрового электронного микроскопа.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Архейский возраст карбонатитов Сиилинъярви / Т. Б. Баянова, А. Сильвенойнен, Е. Екдал, Д. Р. Зозуля // Всерос. семинар с участием стран СНГ "Геохимия магматических пород". Школа "Щелочной магматизм Земли" : материалы годичной сессии, 20–21 марта 2002 г. / Рос. акад. наук и [др.]. М., 2002. С. 22–23.
- Балаганский В. В. Главные этапы тектонического развития северо-востока Балтийского щита в палеопротерозое : автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. СПб., 2002. 32 с.
- Батиева И. Д. Щелочные граниты Беломорского района // Геология СССР / под ред. П. Я. Антропова. М., 1958. Т. XXVII, ч. 1. С. 467–472.
- Баянова Т. Б. Возраст реперных геологических комплексов Кольского региона и длительность процессов магматизма. СПб. : Наука, 2004. 174 с.
- Ветрин В. Р. Источники вещества неоархейских субщелочных магматических пород Кейвской структуры (Кольский полуостров) // Доклады Академии наук. 2019. Т. 488, № 1. С. 67–70. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5652488167-70>.
- Ветрин В. Р., Каменский И. Л., Икорский С. В., Ганнибал М. А. Мантийный флюид в позднеархейских щелочных гранитах Кольского полуострова // Щелочной магматизм Земли : семинар научной школы, 19 апреля 2001 г. М. : ГЕОХИ РАН, 2001. С. 16–17.
- Ветрин В. Р., Скублов С. Г., Балашов Ю. А., Лялина Л. М. [и др.]. Время образования и генезис иттрий-циркониевого оруденения массива Сахарйок, Кольский полуостров // Записки Российского минералогического общества. 2014. Т. 143, № 2. С. 1–22.
- Костюк Ю. В. Минералогия циркона в щелочных гранитах и пегматитах массивов: Канозерского, Западно-Кейвского и Белых тундр // Выпускная квалификационная работа (магистерская диссертация). МГТУ. Апатиты, 2004. 57 с.
- Мостафа М. Геологическое строение и золоторудная минерализация месторождения Хамама, центральная часть восточной пустыни Египта : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 2019. 27 с.
- Ниткина Е. А., Аппасевич Е. А., Баянова Т. Б. Морфологические особенности цирконов в магматических и метаморфических породах: методика выборки цирконов на U-Pb датирование // Труды Ферсмановской научной сессии. 2004. № 1. С. 84–86.
- Пушкарев Ю. Д. Мегациклы в эволюции системы кора – мантия. Л. : Наука, 1990. 217 с.
- Хабибулина Т. С. Типология и состав цирконов гранитоидов Верхояно-Колымских мезозоид : Петрогенетические аспекты : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Якутск, 2001. 31 с.
- Щелочные граниты Канозерского массива // Новые данные по геохронологии и геохимии изотопов докембрия Кольского полуострова : препринт / под ред. Ф. П. Митрофанова, Ю. А. Балашова. Апатиты, 1990. С. 26.
- Balagansky V. V., Myskova T. A., Lvov P. A., Larionov A. N. [et al.]. Neoaarchean A-type acid metavolcanics in the Keivy Terrane, northeastern Fennoscandian Shield: Geochemistry, age, and origin // *Lithos*. 2021. Vol. 105899, pp. 380–381. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105899>.
- Bayanova T., Voloshin A. U-Pb dating of zircon megacrysts (8 cm) from amazonite and pegmatite of mt. Ploskaya, Baltic Shield // *Journal of Conference Abstracts*. 1999. № 1. Vol. 4. P. 153.
- Eby G. N. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis // *Lithos*. 1990. Vol. 26, Iss. 1-1. P. 115–134. DOI: [https://doi.org/10.1016/0024-4937\(90\)90043-Z](https://doi.org/10.1016/0024-4937(90)90043-Z).
- Krogh T. E. A low-contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determination // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1973. Vol. 37, Iss. 3. P. 485–494. DOI: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(73\)90213-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(73)90213-5).
- Ludwig K. R. Isoplot/Ex : A geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Version 2.05. Vol. 1a. Berkeley : Berkeley Geochronology Center Special Publication, 1999. 49 p.
- Ludwig K. R. PBD AT : A computer program for processing Pb-U-Th data. Version 1.20. U.S. : U.S. Geological Survey, 1991. 38 p.
- Pupin J. P., Turco G. Le zircon, mineral commun significatif des roches endogenes et exogenes // *Bulletin de Minéralogie*. 1981. Vol. 104, Iss. 6. P. 724–731.

- Stacey J. S., Kramers J. O. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model // *Earth and Planetary Science Letters*. 1975. Vol. 26, Iss. 2. P. 207–221. DOI: [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(75\)90088-6](https://doi.org/10.1016/0012-821X(75)90088-6).
- Steiger R. H., Jäger E. Subcommission on geochronology: Convention on the use of constants in geo- and cosmochronology // *Earth and Planetary Science Letters*. 1977. Vol. 36, Iss. 3. P. 359–362. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X\(77\)90060-7](http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X(77)90060-7).
- Zakharov D. O., Zozulya D. R., Rubatto D. Low- $\delta^{18}\text{O}$ Neoproterozoic precipitation recorded in a 2.67 Ga magmatic-hydrothermal system of the Keivy granitic complex, Russia // *Earth and Planetary Science Letters*. 2022. Vol. 578. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2021.117322>.
- Zozulya D. R., Eby G. N., Bayanova T. B. Keivy alkaline magmatism in the NE Baltic Shield: Evidence for the presence of an enriched reservoir in Late Archean mantle // 4th International Archean Symposium. Extended Abstract, Australia. 2001. P. 540–542.

References

- Archean age of Siilinjärvi carbonatites. 2002. Bayanova, T. B., Silvenoinen, A., Ekdal, E., Zozulya, D. R. School: Alkaline magmatism of the Earth. Geochemistry of igneous rocks. Materials of the annual session. Moscow. pp. 22–23. (In Russ.)
- Balagansky, V. V. 2002. The main stages of the tectonic development of the northeast of the Baltic Shield in the Paleoproterozoic. Abstract of Ph.D. dissertation. Saint Petersburg. (In Russ.)
- Batieva, I. D. 1958. Alkaline granites of the Belomorsky region. *Geology of the USSR* / ed. P. Ya. Antropova. Volume XXVII, part 1, pp. 467–472. (In Russ.)
- Bayanova, T. B. 2004. Age of reference geological complexes of the Kola region and duration of magmatism processes. Saint Petersburg. (In Russ.)
- Vetrin, V. R. 2019. Sources of matter of Neoproterozoic subalkaline igneous rocks of the Keivy structure (the Kola Peninsula). *Doklady Akademii nauk*, 488(1), pp. 67–70. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5652488167-70>. (In Russ.)
- Vetrin, V. R., Kamensky, I. L., Ikorsky, S. V., Gannibal, M. A. 2001. Mantle fluid in Late Archean alkaline granites of the Kola Peninsula. Alkaline magmatism of the Earth: Proceedings of a scientific school, 19 April 2001. Moscow, pp. 16–17. (In Russ.)
- Vetrin, V. R., Skublov, S. G., Balashov, Yu. A., Lyalina, L. M. et al. 2014. Time of formation and genesis of yttrium-zirconium mineralization of the Sakharyok massif, the Kola Peninsula. *Proceedings of the Russian Mineralogical Society*, 143(2), pp. 1–22. (In Russ.)
- Kostyuk, Yu. V. 2004. Mineralogy of zircon in alkaline granites and pegmatites of massifs: Kanozero, Zapadno-Keivsky and White tundras. Qualifying work (master's thesis). MSTU. Apatity. (In Russ.)
- Mostafa, M. 2019. Geological structure and gold mineralization of the Hamama deposit, the central part of the eastern desert of Egypt. Abstract of Ph.D. dissertation. Moscow. (In Russ.)
- Nitkina, E. A., Apnasevich, E. A., Bayanova, T. B. 2004. Morphological features of zircon in igneous and metamorphic rocks: A technique for sampling zircons for U-Pb dating. *Trudy Fersmanovskoi nauchnoi sessii*, 1, pp. 84–86. (In Russ.)
- Pushkarev, Yu. D. 1990. Megacycles in the evolution of the crust – mantle system. Leningrad. (In Russ.)
- Habibulina, T. S. 2001. Typology and composition of zircons of granitoids of the Verkhoyansk-Kolyma mesozoids: Petrogenetic aspects. Abstract of Ph.D. dissertation. Yakutsk. (In Russ.)
- Alkaline granites of the Kanozero massif. New data on geochronology and geochemistry of Precambrian isotopes of the Kola Peninsula. Preprint. Eds. F. P. Mitrofanov, Yu. A. Balashov. Apatity. (In Russ.)
- Balagansky, V. V., Myskova, T. A., Lvov, P. A., Larionov, A. N. et al. 2021. Neoproterozoic A-type acid metavolcanics in the Keivy Terrane, northeastern Fennoscandian Shield: Geochemistry, age, and origin. *Lithos*, 105899, pp. 380–381. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105899>.
- Bayanova, T., Voloshin, A. 1999. U-Pb dating of zircon megacrysts (8 cm) from amazonite and pegmatite of mt. Ploskaya, Baltic Shield. *Journal of Conference Abstracts*, 1(4), pp. 153.
- Eby, G. N. 1990. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. *Lithos*, 26(1-1), pp. 115–134. DOI: [https://doi.org/10.1016/0024-4937\(90\)90043-Z](https://doi.org/10.1016/0024-4937(90)90043-Z).
- Krogh, T. E. 1973. A low-contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determination. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37(3), pp. 485–494. DOI: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(73\)90213-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(73)90213-5).
- Ludwig, K. R. 1999. Isoplot/Ex : A geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Version 2.05. Vol. 1a. Berkeley, Berkeley Geochronology Center Special Publication.
- Ludwig, K. R. 1991. PBD AT : A computer program for Processing Pb-U-Th Data. Version 1.20. U.S. Geological Survey.
- Pupin, J. P., Turco, G. 1981. Le zircon, mineral commun significatif des roches endogènes et exogènes. *Bulletin de Minéralogie*, 104(6), pp. 724–731.

- Stacey, J. S., Kramers, J. O. 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth and Planetary Science Letters*, 26(2), pp. 207–221. DOI: [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(75\)90088-6](https://doi.org/10.1016/0012-821X(75)90088-6).
- Steiger, R. H., Jäger, E. 1977. Subcommittee on geochronology: Convention on the use of constants in geo- and cosmochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, 36(3), pp. 359–362. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X\(77\)90060-7](http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X(77)90060-7).
- Zakharov, D. O., Zozulya, D. R., Rubatto, D. 2022. Low- $\delta^{18}\text{O}$ Neoproterozoic precipitation recorded in a 2.67 Ga magmatic-hydrothermal system of the Keivy granitic complex, Russia. *Earth and Planetary Sciences Letters*, 578. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2021.117322>.
- Zozulya, D. R., Eby, G. N., Bayanova, T. B. 2001. Keivy alkaline magmatism in the NE Baltic Shield: Evidence for the presence of an enriched reservoir in Late Archaean mantle. *4th International Archaean Symposium*. Extended Abstract, Australia, pp. 540–542.

Сведения об авторах

Ниткина Елена Анатольевна – ул. Ферсмана, 14, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Геологический институт КНЦ РАН, канд. геол.-минерал. наук, науч. сотрудник; e-mail: nitkina@geoksc.apatity.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7242-1950>

Elena A. Nitkina – 14 Fersmana Str., Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Geological Institute KSC RAS, Cand. Sci. (Geol. & Miner.), Researcher; e-mail: nitkina@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7242-1950>

Серов Павел Александрович – ул. Ферсмана, 14, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Геологический институт КНЦ РАН, канд. геол.-минерал. наук, науч. сотрудник; e-mail: serov@geoksc.apatity.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0930-0301>

Pavel A. Serov – 14 Fersmana Str., Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Geological Institute KSC RAS, Cand. Sci. (Geol. & Miner.), Researcher; e-mail: serov@geoksc.apatity.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0930-0301>