### Первые U-Pb по циркону данные о возрасте габбро-диоритовых даек Кейвского домена Фенноскандинавского щита

## Мыскова Т. А.<sup>1,2</sup>, Филиппов Н. Б.<sup>2</sup>, Львов П. А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург, tmyskova@gmail.com <sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Nikolay\_Filippov@karpinskyinstitute.ru

Аннотация. Впервые определен возраст (U-Pb по циркону) для двух тел габбро-диоритов силловодайкового комплекса Кейвского домена. Одно тело мощностью до 800 м находится в поле гнейсов лебяжинской свиты в пределах южного крыла Кейвской структуры и имеет возраст кристаллизации 2565 ± 7 млн лет. Менее мощная дайка габбро-диорита (с возрастом 2511 ± 6 млн лет) сечет ставролит-мусковитовые сланцы выхчуртской свиты в осевой части Кейвской синклинали. Полученные возрастные данные служат верхним ограничителем времени формирования сланцев кейвской серии и позволяют относить ее к верхнеархейским образованиям.

Ключевые слова: Фенноскандинавский щит, Кейвский домен, габбро-диориты, U-Pb возраст.

# First U-Pb zircon age data for gabbro-dioritic dykes of the Keivsky domain of the Fennoscandinavian Shield

## Myskova T. A.<sup>1,2</sup>, Filippov N. B.<sup>2</sup>, Lvov P. A.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, tmyskova@gmail.com

<sup>2</sup> All-Russian Research Geological Institute of A. P. Karpinsky, St. Petersburg, Nikolay\_Filippov@karpinskyinstitute.ru

Abstract. For the first time, the age (U-Pb by zircon) was determined for two gabbro-diorite of the sill-dyke complex of Keivy domain. One body (up to 800 m thick) is located in the gneiss field of the Lebyazhinskaya suite within the southern flank of the Keivy structure and has a crystallization age of  $2566 \pm 8$  Ma. A less thick gabbro-diorite dike (with an age of  $2511 \pm 6$  Ma) cuts staurolite-muscovite schists of the Vykhchurtskaya suite in the axial region of the Keivy syncline. The obtained age data are the upper limit of the formation time of the schists of the Keivy series and allow us to classify it as Upper Archean formations.

Keywords: Fennoscandian Shield, Keivy domain, gabbro-diorites, U-Pb age.

#### Введение

Кейвский домен по особенностям геологического строения и своеобразию породных ассоциаций не имеет аналогов на Фенноскандинавском щите, включая массивы щелочных гранитов и габбро-анортозитов неоархейского возраста и протяженные поля развития гигантозернистых кианитовых, гранатовых и ставролитовых парасланцев кейвской серии, с которыми связаны крупнейшие месторождения кианита (Бельков, 1963). По своему местоположению он занимает центральную часть Кольского полуострова, контактируя на севере с Мурманским, на западе – с Кольско-Норвежским, на востоке – с Восточно-Кольским блоками, а на юге – с супракрустальными образованиями раннепротерозойской Имандра-Варзугской структуры (рис. 1).

На сегодняшний день остаются нерешенными многочисленные вопросы, касающиеся происхождения и возраста пород, принадлежащих домену. К их числу относится выяснение природы и возраста всей последовательности пород, залегающих на метавулканитах лебяжинской свиты. Их расчленение представляет собой сложную задачу и пока не дало однозначного результата. Подробный обзор имеющихся в настоящее время представлений касающихся стратиграфии района, приведен в работе С. В. Мудрука (2022).

И.В. Бельков (1963) весь разрез, лежащий выше лебяжинской свиты, относил к кейвской свите, разделив ее на отдельные пачки, сопоставляемые впоследствии с сериями и свитами. Другие ис-



Рис. 1. Геологическая схема Кейвского блока Кольско-Норвежской провинции Фенноскандинавского щита, по (Ветрин, Родионов, 2009) с дополнениями и изменениями. *Палеопротерозой*: 1 – вулканогенно-осадочный комплекс Имандра-Варзугской структуры и хребта Серповидного Кейвской структуты. *Архей*: 2 – парасланцы и гнейсы кейвской серии; 3 – кислые и средние ортосланцы; 4 – вулканогенно-осадочный комплекс зеленокаменного пояса Колмозеро-Воронья; 5 – габбро-анортозиты; 6 – щелочные и субщелочные граниты, грано-сиениты и щелочные метасоматиты; 7 – эндербиты, диориты, монцодиориты, гранодиориты; 8 – биотитовые гнейсы, мигматиты, тоналит-трондьемит-гранодиоритовые гранитогнейсы, амфиболиты; 9: (а) разломы, (б) надвиги. Цифры в кружках массивы габбро-анортозитов: 1 – Патчемварек и Северный, 2 – Ачинский, 3 – Пачинский, 4 – Цагинский, 5 – Щучье-Медвежьеозерский, 6 – Ельозерский. На врезке – схема тектонического районирования Кольско-Норвежской провинции: I – Мурманский блок, II – Центрально-Кольский блок, III – Кейвский блок, IV – Имандра-Варзугская структура, V – зеленокаменный пояс Колмозеро-Воронья; 10 – места отбора геохронологических проб (в числителе – возраст, в знаменателе – номер пробы)

Fig. 1. Geological scheme of the Keivy block, Kola-Norwegian province, Fennoscandian shield, after (Vetrin, Rodionov, 2009) with additions and changes. *Paleoproterozoic*: 1 – volcanogenic-sedimentary complex of the Imandra-Varzuga structure and the Serpovidny ridge of the Keivy structure. *Archean*: 2 – paraschists and gneisses of the Keivy series; 3 – acid and intermediate orthoschists; 4 – volcanogenic-sedimentary complex of the Kolmozero-Voronya greenstone belt; 5 – gabbro-anorthosites; 6 – alkaline and subalkaline granites, granosyenites and alkaline metasomatites; 7 – enderbites, diorites, monzodiorites, granodiorites; 8 – biotite gneisses, migmatites, tonalite-trondhjemitegranodiorite granite gneisses, amphibolites; 9: (a) faults, (b) thrusts. Numbers in circles are gabbro-anorthosite massifs: 1 – Patchemvarek and Severny, 2 – Achinsky, 3 – Pachinsky, 4 – Tsaginsky, 5 – Shchuchye-Medvezh'eozersky, 6 – Yelozersky. The inset shows a scheme of tectonic zoning of the Kola-Norwegian province: I – Murmansk block, II – Central Kola block, III – Keivy block, IV – Imandra-Varzuga structure, V – Kolmozero-Voronya greenstone belt; 10 – locations of geochronological sampling (numerator – age, denominator – sample number)

следователи (Белолипецкий и др., 1980; Радченко и др., 1994; Ремизова и др., 2007) низы разреза относили к двум свитам (снизу вверх) – червуртской и выхчуртской и объединяли в кейвскую серию. Стратотипические разрезы свит находятся в осевой части Кейвской структуры. Существуют разные мнения в отношении характера границы между породами лебяжинской свиты и кейвской серии. Одними исследователями (Бельков, 1963) отмечается согласное залегание сланцев кейвской серии на нижележащих гнейсах. По мнению других (Мирская, 1976; Загородный, Радченко, 1983; Радченко и др., 1994) сланцы залегают со значительным стратиграфическим и угловым несогласием на коре выветривания по гнейсам лебяжинской свиты. Выше кейвской серии выделяют песцовотундровскую свиту (Радченко и др., 1994) или серию (Белолипецкий и др., 1980; Ремизова и др., 2007), разделяя ее на две свиты (снизу вверх): малокейвскую и золотореченскую. Одни и те же образования, залегающие выше золотореченской свиты, относят: к умбинской свите (Белолипецкий и др., 1980), песцовой серии (Радченко и др., 1994) или песцовокейвской свите (Ремизова и др., 2007).

Нет единого мнения и в отношении природы пород, слагающих перечисленные свиты. Глиноземистые сланцы и кварциты червуртской и выхчуртской свит интерпретировались как терригенные высокодифференцированные метаосадки, образовавшиеся в спокойном осадочном бассейне в условиях протоплатформенного режима (Бельков, 1963), являющиеся метаморфизованными продуктами переотложенных кор выветривания (Мирская, 1976; Белолипецкий и др., 1980 и др.). Позднее появились представления о том, что по сдвиговым зонам в кейвских сланцах развиты метасоматиты (динамометаморфиты), представленные крупно- и гигантозернистыми кианитовыми и ставролитовыми сланцами (Бушмин и др., 2011; и др.). Супракрустальные образования, залегающие выше кейвской серии, описываются в целом как метаосадки, лишь в самой верхней песцовокейвской свите (Бельков, 1963; Белолипецкий и др., 1980) или по другим авторам серии (Радченко и др., 1994) отмечается присутствие основных эффузивных пород (метамандельштейнов) и терригенно-карбонатной толщи, на основании чего они сопоставляются с ятулийскими образованиями умбинской свиты варзугской серии Имандра-Варзугской структуры (Белолипецкий и др., 1980; Негруца, 1984; Ремезова и др., 2007; Минц и др., 2010) и считаются протерозойскими.

Из-за отсутствия надежных изотопных датировок, расходятся мнения и в отношении возраста пород кейвской серии. Одни исследователи относят породы к архею (Бельков, 1963; Радченко и др., 1994). Другие считают их раннекарельскими (Белолипецкий и др., 1980; Мележик и др., 1988; Минц и др., 2015; Melezhik, Hanski, 2013; Mudruk et al., 2022), предполагая значительный временной перерыв между периодом формирования позднелопийских породных ассоциаций и раннекарельских рифтогенных осадочно-вулканогенных образований, потребовавшийся для переотложения продуктов кор выветривания. Предполагается, что первичные породы были подвержены динамометаморфизму в процессе свекофеннской коллизии в 1.72-1.76 млрд лет (Бушмин и др., 2011). Такие же оценки возраста были получены по U-Pb системе ставролита (Лобиков и др., 2012). Установлено что метаморфизм пород происходил в условиях кианит-хлорит-ставролитовой субфации эпидотамфиболитовой фации и кианит-мусковит-биотит-ставролитовой субфации амфиболитовой фации (T = 540–620°C и P = 5.2–6 кбар) (Пиндюрина, 2015).

Остается нерешенным вопрос о времени формирования сланцев песцовотундровской серии. Известны только их Sm-Nd модельный возраст (2.81 млрд лет) и возрасты детритовых цирконов (по <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb), которые приближаются к 2.75 млрд лет (Bridgwater et al., 2001).

#### Методика

U-Pb возраст оценен в цирконах из 2 проб габбро-диоритов. Пробы отбирались из наименее переработанных пород, а затем отбраковывались с помощью шлифов и микрозондового анализа. Выделение акцессорных цирконов проводилось по стандартной методике с использованием тяжелых жидкостей. Изотопный анализ U и Pb в цирконах выполнен на ионном микрозонде SHRIMP-II в Центре изотопных исследований Института Карпинского (Санкт-Петербург). Данные обрабатывались согласно процедуре, описанной в (Williams, 1998) с использованием программ SQUID (Ludwig, 2000) и Isoplot/Ex (Ludwig, 2001). Pb/U отношения нормализовались на 0.0665 для  $^{206}$ Pb/<sup>238</sup>U в стандартном цирконе TEMORA, соответствующем возрасту 416.7 ± 1.30 млн лет (2 $\sigma$ ) (Black et al., 2003).

#### Полученные результаты и обсуждение

Детритовые цирконы, выделенные из сланцев кейвской серии, малоэффективны для установления времени формирования свит, и несут в себе информацию только о возрасте источников сноса терригенного материала. Более продуктивным в этом отношении оказывается датирование многочисленных тел базитов, силло- и дайкообразной формы, являющихся секущими по отношению к гнейсам и сланцам Кейвской структуры (рис. 1), что позволяет использовать время их кристаллизации в качестве верхнего возрастного ограничителя. Д. Д. Мирской (1968) было произведено разделение этих габброидов на группы. Тела метабазитов, секущие сланцы кейвской серии, по геолого-петрографическим признакам разделены на шесть групп, каждая из которых характеризуется особенностями минерального и химического состава, обусловленными, с одной стороны, первичным составом расплава, с другой – условиями формирования пород. Наибольшим распространением пользуются лейкократовые полевошпатовые амфиболиты, на долю которых приходится 70 %, меланократовые полевошпатовые амфиболиты составляют 20 %, остальные (габбро-лабрадориты; тремолитовые, плагиопорфиритовые и титаномагнетитовые амфиболиты) присутствуют в подчиненном количестве.

Отсутствуют геохронологические данные, на основании которых можно было бы судить о реальном возрасте этих тел. В ходе картосоставительских работ (Ремезова и др., 2007) малые тела и дайки габброидов по возрасту были разделены на архейские и протерозойские. К архейским были отнесены тела преимущественно южного крыла Кейвского синклинория, находящиеся в поле развития гнейсов понойской серии. К протерозойским – силлы и дайки, секущие разрезы кейвской серии и песцовокейвской свиты.

Авторами настоящей статьи сделаны определения U-Pb возраста в цирконах, выделенных из двух проб амфиболизированных габбро-диоритов (22182/1 и 22168/1), относимых (по Мирской, 1968) к группе лейкократовых полевошпатовых габбро-амфиболитов. Эта разновидность габброидов характеризуется низкой магнезиальностью, повышенной щелочностью, железистостью и титанистостью. Породы состоят из железистого амфибола, основного и частью раскисленного плагиоклаза и нередко биотита. Они имеют химический состав, переходный между базальтами и кварцевыми габбро и содержат в среднем (в мас. %): SiO<sub>2</sub> – 54, TiO<sub>2</sub> – 0.8, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 16, Fe<sub>2</sub>O<sub>3 общ.</sub> – 9, MgO – 6, CaO – 8, Na<sub>2</sub>O – 2, K<sub>2</sub>O – 0.7. По числовым характеристикам А. Н. Заварицкого эта группа габброидов близка к габбро-диоритам.

Проба 22182/1 (67° 37' 20.4» с.ш., 37° 5' 13.6» в.д.) отобрана из относительно мощного тела (с максимальным раздувом до 800 м), находящегося в поле гнейсов лебяжинской свиты южного крыла Кейвской структуры (рис. 1). Габбро-диориты (рис. 2а) имеют гипидиоморфнозернистые и аллотриоморфнозернистые структуры. Главными породообразующими минералами выступают амфибол (45–50 %), биотит (7–10 %), плагиоклаз (35–40 %) и небольшое количество кварца, акцессорные – титанит, ильменит, циркон. Циркон представлен фрагментами призматических зерен размером по вытянутой оси 100–250 мкм, характеризуется низкой степенью катодолюминесценции, в редких случаях присутствует реликтовая зональность (рис. 3 а), содержит варьирующие концен-



Рис. 2. Фотографии образцов амфиболизированных габбро-диоритов: (a) 22182/1, (б) 22168/1 Fig. 2. Photographs of amphibolized gabbro-diorite samples: (a) 22182/1, (b) 22168/1



Рис. 3. Изображения в катодолюминесценции (а) и графики с конкордией (б) для цирконов из амфиболизированных габбро-диоритов (проба 22182/1)

Fig. 3. Cathodoluminescence images (a) and concordia plots (b) for zircons from amphibolized gabbro-diorite (sample 22182/1)

трации (в мкг/г): U – 161–971, Th – 146–1437 и Th/U = 0.73–2.13 (табл. 1). Значение конкордантного возраста по 9 кристаллам циркона составляет  $2565 \pm 7$  млн лет (СКВО = 0.056) (рис. 3 б) и такое же значение получено по верхнему пересечению дискордии с конкордией по 15 аналитическим точкам (СКВО = 0.32). Средневзвешенное значение <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb возраста для тех же 15 точек составляет 2565 ± 4 млн лет (СКВО = 0.29). Для трех зерен, вероятнее всего, испытавших потерю радиогенного свинца, возраст оказался сильно заниженным (табл. 1).

Проба 22168/1 (67° 43' 37.6» с.ш., 37° 7' 43.8» в.д.) отобрана в осевой части Кейвской структуры (рис. 1) из маломощной дайки амфиболизированного габбро-диорита (видимой мощностью первые метры), секущей ставролит-мусковитовые сланцы выхчуртской свиты в 5 км восточнее Серповидной структуры. Габбро-диориты (рис. 2 б) подверглись тектоно-метаморфической переработке с образованием лепидонематобластовых структур и сланцеватых текстур. Главными породообразующими минералами выступают амфибол (до 50 %), биотит (5–7 %), плагиоклаз (40 %) и небольшое количество кварца, вторичные – хлорит, акцессорные – титанит, ильменит, пирротин, циркон. Циркон представлен практически такими же фрагментами призматических кристаллов, как и в пробе 22182/1, и зернами неправильной формы, еще более темными в катодолюминесценции, иногда с изрезанными волнистыми краями и с неоднородной внутренней структурой (рис. 4 а). Он имеет средние концентрации (в мкг/г): U – 214–445, Th – 226–643 и Th/U = 0.99–2.11 (табл. 1) Значение возраста, полученное по верхнему пересечению дискордии с конкордией, для 7 точек составило

Таблица 1. U-Pb изотопные данные для цирконов из габбро-диоритов Кейвской структуры	Table 1. U-Pb isotope data for zircons from gabbro-diorites of the Keivy structure
---	--

					-		,		•			
ž		Co	держани	K		Изотопные на об	е отношения с к быкновенный св	соррекцией инец	Ţ	Изотопный во на обыкно	зраст с коррекцией звенный свинец	
Pb, %		<sup>206</sup> Pb*, MKT/T	U, MKT/F	Th, MKr/r	U <sup>827</sup> /hT <sup>252</sup>	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}\pm\%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}\pm\%$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}\pm\%$	Rho	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U, MJH JET	<sup>207</sup> Рb/ <sup>206</sup> Рb, МЛН ЛСТ	Disc, %
						III	oofa 22182/1				-	
0.06		109	291	241	0.86	$0.15869 \pm 0.52$	$0.4381 \pm 1.1$	$9.58 \pm 1.2$	0.898	$2342 \pm 21$	$2442 \pm 9$	4
0.02		453	1186	2082	1.81	$0.15606 \pm 0.25$	$0.4444 \pm 0.98$	$9.563 \pm 1$	0.968	$2371 \pm 19$	$2413 \pm 4$	2
0.00		50	127	85	0.69	$0.1696 \pm 0.72$	$0.4572 \pm 1.2$	$10.69 \pm 1.4$	0.858	$2427 \pm 25$	$2554 \pm 12$	5
0.00	1	108	262	376	1.48	$0.16621 \pm 0.52$	$0.4814 \pm 1.1$	$11.03 \pm 1.2$	0.898	$2533 \pm 22$	$2520 \pm 9$	
0.11		129	312	483	1.6	$0.17008 \pm 0.5$	$0.4818 \pm 1$	$11.3 \pm 1.1$	0.902	$2535 \pm 22$	$2558 \pm 8$	
0.00		403	971	1437	1.53	$0.1707 \pm 0.69$	$0.4832 \pm 0.98$	$11.38 \pm 1.2$	0.815	$2541 \pm 20$	$2565 \pm 12$	1
0.08		170	406	494	1.26	$0.17082 \pm 0.5$	$0.4867 \pm 1$	$11.46 \pm 1.1$	0.897	$2556 \pm 21$	$2566 \pm 8$	0
0.00		87.3	208	146	0.73	$0.17092 \pm 0.57$	$0.4895 \pm 1.1$	$11.54 \pm 1.2$	0.886	$2568 \pm 23$	$2567 \pm 10$	0
0.02		236	562	757	1.39	$0.17114 \pm 0.33$	$0.4897 \pm 1$	$11.55 \pm 1.1$	0.949	$2569 \pm 21$	$2569 \pm 6$	0
0.05		68	161	187	1.20	$0.1719 \pm 0.65$	$0.4921 \pm 1.2$	$11.66 \pm 1.3$	0.873	$2580 \pm 25$	$2576 \pm 11$	0
0.07		97.8	231	197	0.88	$0.17055 \pm 0.55$	$0.4932 \pm 1.1$	$11.6 \pm 1.2$	0.895	$2584 \pm 23$	$2563 \pm 9$	-1
0.06		280	661	1254	1.96	$0.17017 \pm 0.41$	$0.4934 \pm 1$	$11.58 \pm 1.1$	0.926	$2585 \pm 21$	$2559 \pm 7$	-1
0.03		251	590	1220	2.13	$0.17086 \pm 0.35$	$0.4944 \pm 1$	$11.65 \pm 1.1$	0.946	$2590 \pm 22$	$2566 \pm 6$	-1
0.05		251	588	1191	2.09	$0.17123 \pm 0.35$	$0.4973 \pm 1$	$11.74 \pm 1.1$	0.943	$2602 \pm 21$	$2570 \pm 6$	-1
0.00		326	760	1631	2.22	$0.17059 \pm 0.3$	$0.4989 \pm 0.98$	$11.73 \pm 1$	0.956	$2609 \pm 21$	$2564 \pm 5$	-2
0.03		318	736	1283	1.80	$0.17074 \pm 0.3$	$0.502 \pm 1$	$11.82 \pm 1$	0.958	$2622 \pm 21$	$2565 \pm 5$	-2
0.16		114	262	328	1.29	$0.17044 \pm 0.56$	$0.5029 \pm 1.1$	$11.82 \pm 1.2$	0.890	$2626 \pm 23$	$2562 \pm 9$	-2
0.06		309	700	1049	1.55	$0.17065 \pm 0.3$	$0.513 \pm 1$	$12.07 \pm 1$	0.957	$2669 \pm 22$	$2564 \pm 5$	-4
						Πţ	06a 22168/1					
0.85		44.7	169	65	0.40	$0.1187 \pm 1.4$	$0.3056 \pm 1.1$	$5.002 \pm 1.8$	0.627	$1719 \pm 17$	$1937 \pm 25$	13
2.91		90.5	306	1002	3.38	$0.1435 \pm 1.8$	$0.3339 \pm 1.1$	$6.61 \pm 2.1$	0.508	$1857 \pm 17$	$2270 \pm 31$	22
0.29		217	723	794	1.14	$0.13687 \pm 0.45$	$0.3479 \pm 1$	$6.564 \pm 1.1$	0.911	$1924 \pm 17$	$2187.9 \pm 8$	14
0.18		214	692	1611	2.40	$0.12581 \pm 0.44$	$0.3596 \pm 0.99$	$6.237 \pm 1.1$	0.915	$1980 \pm 17$	$2040.2 \pm 8$	3
0.08		282	911	338	0.38	$0.12737 \pm 0.4$	$0.36 \pm 0.97$	$6.323 \pm 1$	0.924	$1982 \pm 17$	$2062 \pm 7$	4
0.68		112	354	537	1.57	$0.1422 \pm 0.75$	$0.3651 \pm 1$	$7.159 \pm 1.3$	0.808	$2007 \pm 18$	$2254 \pm 13$	12

лица 1 (окончание). U-Pb изотопные данные для цирконов из габбро-диоритов Кейвской структуры	Table 1 (end). U-Pb isotope data for zircons from gabbro-diorites of the Keivy structure
Таблі	

	Disc, %	-	14	9	4	4	ю	с	4	4	2	-	-	0	-1				
озраст с коррекцией ювенный свинец	<sup>207</sup> РЬ/ <sup>206</sup> РЬ, МЛН ЛСТ		$2402 \pm 17$	$2343 \pm 9$	$2326 \pm 15$	$2414 \pm 13$	$2418.2 \pm 7$	$2422.6 \pm 9$	$2517.8 \pm 9$	$2507.2 \pm 8$	$2513.9 \pm 7$	$2503.1 \pm 6$	$2511.3 \pm 8$	$2518.3 \pm 9$	$2517.9 \pm 9$				
Изотопный н на обыкн	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U, MJIH JIET		$2212 \pm 18$	$2207 \pm 23$	$2228 \pm 19$	$2316 \pm 23$	$2344 \pm 20$	$2350 \pm 20$	$2419 \pm 21$	$2420 \pm 21$	$2456 \pm 21$	$2476 \pm 21$	$2486 \pm 22$	$2527 \pm 21$	$2532 \pm 23$				
Ē	Kho		0.710	0.925	0.761	0.836	0.933	0.896	0.890	0.900	0.922	0.937	0.906	0.893	0.895				
оррекцией инец	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}\pm\%$		$8.28 \pm 1.4$	$8.43 \pm 1.3$	$8.44 \pm 1.3$	$9.3 \pm 1.4$	$9.46 \pm 1.1$	$9.52 \pm 1.1$	$10.42 \pm 1.2$	$10.36 \pm 1.1$	$10.59 \pm 1.1$	$10.62 \pm 1.1$	$10.73 \pm 1.2$	$10.99 \pm 1.2$	$11.01 \pm 1.2$				
е отношения с н ыкновенный сн	$^{206}Pb/^{238}U \pm \%$	Проба 22168/1	Проба 22168/1	o6a 22168/1	6a 22168/1	o6a 22168/1	$0.3876 \pm 1$	$0.4083 \pm 1.2$	$0.413 \pm 1$	$0.4322 \pm 1.2$	$0.4386 \pm 1$	$0.4399 \pm 1$	$0.4554 \pm 1$	$0.4557 \pm 1$	$0.4637 \pm 1$	$0.4682 \pm 1$	$0.4707 \pm 1.1$	$0.4799 \pm 1$	$0.4811 \pm 1.1$
Изотопные на об	$^{207}Pb/^{206}Pb\pm\%$			$0.155 \pm 1$	$0.14973 \pm 0.49$	$0.1483 \pm 0.86$	$0.1561 \pm 0.77$	$0.1565 \pm 0.39$	$0.15691 \pm 0.5$	$0.16601 \pm 0.53$	$0.16496 \pm 0.49$	$0.16563 \pm 0.44$	$0.16457 \pm 0.38$	$0.16536 \pm 0.49$	$0.16605 \pm 0.52$	$0.16602 \pm 0.55$			
T 1920/ FUELOCC	0°62/012562		1.47	1.73	2.51	0.91	0.68	0.54	1.64	0.99	1.46	1.49	1.16	2.11	1.09				
IA	Th, MKr/r		608	826	1508	329	334	189	422	322	524	643	373	624	226				
одержани	U, MKI'I		428	492	621	373	510	360	267	335	371	445	333	306	214				
C	<sup>206</sup> Pb*, MKI/F		143	173	221	138	192	136	105	132	148	179	135	126	88.6				
<sup>206</sup> Pb <sub>c</sub> , %-			0.21	0.34	0.14	0.09	0.07	0.18	0.16	0.22	0.08	0.03	0.17	0.08	0.07				
Зерно	Точка		R5.2	R5.1	R5.4	10.1	11.1	8.1	7.1	9.1	5.1	2.1	14.1	6.1	4.1				

 $<sup>- \</sup>frac{206 Pb/238 U}{2}$ 0.22–1.05 %. Коррекция на обыкновенный свинец проведена по измеренному <sup>264</sup>Рb. *Rho* – коэффициент корреляции отношений <sup>207</sup>Рb/<sup>235</sup>U Disk=100\*(T<sup>2</sup> = 1/1<sup>2</sup> = 1/



Рис. 4. Изображения в катодолюминесценции (а) и графики с конкордией (б) для цирконов из амфиболизированных габбро-диоритов (проба 22168/1)

Fig. 4. Cathodoluminescence images (a) and concordia plots (b) for zircons from amphibolized gabbro-diorite (sample 22168/1)

 $2511 \pm 6$  млн лет (СКВО = 0.64) (рис. 4б). Такое же значение ( $2512 \pm 6$  млн лет, СКВО = 0.61) получено и для средневзвешенного <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb возраста по тем же точкам. Остальные аналитические точки (12 шт.) вытянуты в виде «веерообразного» шлейфа вблизи конкордии, что, по-видимому, связано со значительными потерями радиогенного свинца, вызвавшими «омоложение» возраста. Подобные отклонения от реального возраста могут возникать при измерении цирконов с нарушенной кристаллической решеткой (Horie, Hidaka, Gauthier-Lafaye, 2006; Geisler, Schaltegger, Tomaschek, 2007; Kusiak et al., 2013; и др.).

#### Заключение

На основании изучения состава и возраста (U-Pb по циркону) в двух дайках габбро-диоритов установлено, что они имеют близкий минеральный состав и неоархейский возраст, но отличаются степенью тектоно-метаморфической переработки.

Тела габброидов относятся к группе лейкократовых полевошпатовых габбро-амфиболитов и присутствуют как в осевой части Кейвской структуры, так и в южном ее крыле.

В южном крыле структуры они менее переработаны наложенными процессами и имеют U-Pb по циркону возраст 2565 ± 7 млн лет.

В осевой части структуры габбро-диориты подверглись интенсивным тектонометаморфическим преобразованиям и для них характерен более молодой U-Pb по циркону возраст 2511 ± 6 млн лет. Не исключено, что такое «омоложение» связано с потерей радиогенного свинца. Установлен временной интервал формирования сланцев кейвской серии. Нижним ограничителем выступает время кристаллизации кислых вулканитов лебяжинской свиты, на которых залегают сланцы: по одним данным –  $2871 \pm 15$  млн лет (Баянова, 2004), по другим –  $2678 \pm 7$  млн лет (Balagansky et al., 2020) и  $2763 \pm 7$  млн лет (устное сообщение И. А. Житниковой), а верхним ограничителем служит значение возраста секущих тел габбро-диоритов  $2565 \pm 7 - 2511 \pm 6$  млн лет. На этом основании можно говорить о позднеархейском, а не раннепротерозойском времени формирования сланцев кейвской серии.

В легендах ныне действующих государственных геологических карт нового поколения толща глиноземистых сланцев кейвской серии занимает разное положение.

В легенде Балтийской серии листов ГК-1000/3 (Астафьев и др., 2012) сланцы отнесены к червуртской и выхчуртской свитам кейвской серии позднего лопия.

В сводной легенде к обновленной цифровой геологической карте м-ба 1: 200 000 (лист Краснощелье) (Ремезова и др., 2007) червуртская и выхчуртская свиты отнесены к образованиям раннего карелия. А силлово-дайковый комплекс габбро-амфиболитов, секущий разрез кейвской серии, рассматривается в качестве раннепротерозойского.

Полученные новые геохронологические данные согласуются с приведенными в легенде Балтийской серии листов ГК-1000/3.

#### Благодарности

Работа выполнена в рамках проектов: «ГДП-200 с подготовкой к изданию листов Q-37-I, II (Западно-Кейвская площадь) (2024–2026 гг.)», «Изотопно-геохимическое и геохронологическое изучение магматических и метаморфических комплексов для решения геологических и прогнозно-минерагенических задач мониторинга ГК-1000/3, сводного и обзорного геологического картографирования территории Российской Федерации (2022–2024 гг.)» и темы НИР ИГГД РАН (№ FMUW-2025-0003).

#### Литература

- 1. Баянова Т. Б. Возраст реперных геологических комплексов Кольского региона и длительность процессов магматизма / Т. Б. Баянова. Москва : Изд-во: Наука. 2004. 172 с.
- Белолипецкий А. П. Геология и геохимия метаморфических комплексов раннего докембрия Кольского полуострова / А. П. Белолипецкий, В. Г. Гаскельберг, Л. А. Гаскельберг [и др.]; ответственный редактор И. В. Бельков. Ленинград : Наука : Ленингр. отд-ние, 1980. 240 с.
- 3. Бельков И. В. Кианитовые сланцы свиты Кейв / И. В. Бельков; редактор М. С. Точилин. Москва-Ленинград : Изд-во Академии наук СССР, 1963. 327 с.
- 4. Бушмин С. А. Происхождение и состав флюида, ответственного за метасоматические процессы в зонах сдвиговых деформаций тектонического покрова Большие Кейвы Балтийского щита: изотопный состав углерода графитов / С. А. Бушмин, В. А. Глебовицкий, Э. М. Прасолов [и др.] // Доклады академии наук. 2011. Т. 438, № 3. С. 379–383.
- 5. Ветрин В. Р. Геология и геохронология неоархейского анорогенного магматизма Кейвской структуры, Кольский полуостров / В. Р. Ветрин, Н. В. Родионов. // Петрология. 2009. Т. 17, № 6. С. 578–600.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации: масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение) / Б. Ю. Астафьев, Ю. Б. Богданов, О. А. Воинова [и др.]. Серия Балтийская. Лист Q-37 – Архангельск. Санкт-Петербург : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 302 с. + 11 вкл.
- Загородный В. Г. Тектоника раннего докембрия Кольского полуострова (состояние изученности и проблемы) / В. Г. Загородный, А. Т. Радченко. Ленинград : Наука, 1983. 96 с.
- Лобиков А. Ф. U-Pb геохимия ставролитов: новые методические подходы / А. Ф. Лобиков, Л. К. Левский // V Российская конференция по изотопной геохронологии «Геохронологические изотопные системы, методы их изучения, хронология геологических процессов». Москва : Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН. 2012. С. 222–224.
- Мележик В. А. Углеродистые отложения ранних этапов развития Земли (геохимия и обстановки накопления на Балтийском щите) / В. А. Мележик, А. А. Басалаев, А. А. Предовский, [и др.]. Ленинград : Изд-во Наука, 1988. 197 с.
- Минц М. В. Кейвская вулкано-тектоническая палеодепрессия / М. В. Минц // Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы: Интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и ТАТСЕЙС: В 2 т. Москва : Изд-во ГЕОКАРТ : ГЕОС. 2010. Т. 1. С. 84–93.

- 11. Мирская Д. Д. Петрология метабазитов района Кейв (Кольский полуостров) / Д. Д. Мирская. Ленинград : Издательство Наука, 1968. 168 с.
- Мирская Д. Д. Древнейшие вулканогенные толщи восточной части Кольского полуострова и возможность их палеовулканологических реконструкций / Д. Д. Мирская // Вулканизм докембрия. Петрозаводск : Изд-во Карелия, 1976. С. 73–81.
- 13. Мудрук С. В. Стратигрфия Кейвского террейна: обзор / С. В. Мудрук // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН, 2022. № 19. Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН. С. 253–259.
- 14. Негруца В. З. Раннепротерозойские этапы развития восточной части Балтийского щита / В. З. Негруца. Ленинград : Изд-во Наука, 1984. 270 с.
- 15. Объяснительная записка к геологической карте Мурманской области, масштаб 1 : 200 000. Листы Q-37-I, II. Краснощелье / А. М. Ремизова, Н. А. Семушина, И. А. Плотникова; Редактор А. М. Ремизова // Отчёт о составлении обновлённой цифровой геологической карты Мурманской области масштаба 1:200 000. Книга 18. Апатиты. 2007. 117 с.
- Пиндюрина Е. О. Кристаллические сланцы Кейвского метаморфического комплекса (Кольский п-ов): минеральные парагенезисы и условия формирования / Е. О. Пиндюрина, А. Б. Кольцов. // Вестник Санкт-Петербургского университета, 2015. Сер. 7. Вып. 2. С. 38–58.
- Радченко А. Т. Объяснительная записка к геологической карте северо-восточной части Балтийского щита масштаба 1:500000 / А. Т. Радченко, В. В. Балаганский, А. А. Басалаев [и др.]; Редактор Ф. П. Митрофанов. Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 1994. 95 с.
- Black L. P. TEMORA 1: a new zircon standard for U-Pb geochronology / L. P. Black, S. L. Kamo, C. M. Alen [et al.] // Chemical Geology. 2003. Vol. 200 (1-2). P. 155–170.
- Bridgwater D. Age and provenance of Early Precambrian metasedimentary rocks in the Lap-land-Kola Belt, Russia: evidence from Pb and Nd isotopic data / D. Bridgwater, D. J. Scott, V. V. Balagansky [et al.] // Terra Nova. 2001. Vol. 13, No. 1. P. 32–37. https://doi.org/10.1046/j.1365-3121.2001.00307.x.
- Melezhik, V. A. The Early Palaeoproterozoic of Fennoscandia: Geological and Tectonic Settings / V. A. Melezhik, E. J. Hanski // Frontiers in Earth Sciences. 2013. Vol. 6. Springer, Berlin, Heidelberg. P. 33–38.
- Mudruk S. V. Complex shape of the Paleoproterozoic Serpovidny refolded mega-sheath fold in northern Fennoscandia revealed by magnetic and structural data / S. V. Mudruk, V. V. Balagansky, A. B. Raevsky [et al.] // Journal of Structural Geology. 2022. Vol. 154. 104492. https://doi.org/10.1016/j. jsg.2021.104492.
- Horie K. Elemental distribution in zircon: alteration and radiation-damage effects / K. Horie, H. Hidaka, F. Gauthier-Lafaye // Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. 2006. Vol. 31 (10-14). P. 587–592. DOI: 10.1016/j.pce.2006.01.001.
- Geisler T. Re-equilibration of Zircon in Aqueous Fluids and Melts / T. Geisler, U. Schaltegger, F. Tomaschek // Elements. 2007. No. 3. P. 43–50.
- 24. Kusiak M. A. Mobilization of radiogenic Pb in zircon revealed by ion imaging: Implications for early Earth geochronology / M. A. Kusiak, M. J. Whitehouse, S. A. Wilde [et al.] // Geology. 2013. Vol. 41. P. 291–294. DOI:10.1130/G33920.1.
- Ludwig K. P. / K. P. Ludwig. // SQUID 1. 00. A User's Manual. Berkeley Geochronology Center. Special Publication. 2000. No. 2. 17 p.
- 26. Ludwig K. R. Users Manual for Isoplot/Ex rev. 2.49. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel / K. R. Ludwig. Berkeley Geochronology Center Special Publication, Vol. 1 a, 2001, pp. 1–55.
- Williams I. S. U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe / I. S. Williams. // Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes / Eds. M. A. McKibben, W. C. Shanks III and W. I. Ridley. Society of Economic Geologists, Littleton, 1998, P. 1–35.