

УДК 553.411 (470.21)

АРХЕЙСКИЙ АНОРТОЗИТОВЫЙ И СУБЩЕЛОЧНОЙ МАГМАТИЗМ КЕЙВСКОЙ СТРУКТУРЫ (КОЛЬСКИЙ РЕГИОН): ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ И ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Н. М. Кудряшов*, А. В. Мокрушин, П. А. Серов

Геологический институт Федерального научного центра «Кольский научный центр РАН»
(ул. Ферсмана, 14, Апатиты, Россия, 184209), *n.kudryashov@ksc.ru

Проведено изучение габбро-анортозитовых массивов и связанных с ними интрузий субщелочных гранитов в Кейвской структуре. На основе U-Pb (SHRIMP) определений циркона установлен возраст кристаллизации Цагинского и Ачинского массивов в 2,67–2,66 млрд лет, а также определено время внедрения субщелочных даек в габбро-анортозиты Цагинского массива с изотопным возрастом 2671 ± 2 млн лет. Полученные в этой работе значения изотопного возраста магматизма Кейвской структуры наряду с предыдущими изотопно-геохронологическими исследованиями других массивов отражают практически одновременную кристаллизацию как габбро-анортозитов, так и субщелочных и щелочных гранитов. Образование магматических комплексов связано с частичным плавлением нижнекоровых базитов за счет андерплейтинга в основании нижней коры. На это указывают Sm-Nd (по породе) и Lu-Hf (по циркону) изотопные данные: $\epsilon_{Nd} = -1,0 \div +3,0$; $\epsilon_{Hf} = -3,8 \div +1,5$ с модельными возрастными 3,1–2,9 млрд лет назад. Значительное преобладание в Кейвской структуре продуктов кислого магматизма над основным магматизмом определяется уровнем современного эрозионного среза. Габбро-анортозитовые массивы, приуроченные к крупным региональным разломам, вероятно, являются частью значительных объемов базитов, находящихся на глубине. Последующая эволюция Кейвской структуры связана с метасоматическими процессами и внедрением редкометалльных и редкоземельных пегматитов палеопротерозойского возраста на рубеже 1,75–1,71 млрд лет.

Ключевые слова: U-Pb, Sm-Nd, Lu-Hf изотопные системы; габбро-анортозиты; щелочные граниты; Кейвская структура; Кольский регион

Для цитирования: Кудряшов Н. М., Мокрушин А. В., Серов П. А. Архейский анортозитовый и субщелочной магматизм Кейвской структуры (Кольский регион): геохронологические и изотопно-геохимические исследования // Труды Карельского научного центра РАН. 2026. № 2. С. 120–123. doi: 10.17076/geo2187

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 25-27-20005.

N. M. Kudryashov*, A. V. Mokrushin, P. A. Serov. ARCHEAN ANORTHOSSITE AND SUBALKALINE MAGMATISM OF THE KEIVY STRUCTURE (KOLA REGION): GEOCHRONOLOGICAL AND ISOTOPE-GEOCHEMICAL STUDIES

*Geological Institute, Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences (14 Fersman St., 184209 Apatity, Russia), *n.kudryashov@ksc.ru*

The gabbro-anorthosite massifs and related intrusions of subalkaline granites in the Keivy structure were studied. Based on the U-Pb (SHRIMP) dating of zircons, the crystallization age of the Tsaginsky and Achinsky massifs was established at 2.67–2.66 Ga, and the intrusion of the subalkaline dikes within the Tsaginsky gabbro-anorthosite massif was dated to 2671 ± 2 Ma BP. The isotopic age for igneous rocks of the Keivy structure obtained in this work, along with previous studies of other massifs of the Keivy structure, reflect the almost simultaneous crystallization of both gabbro-anorthosites and subalkaline and alkaline granites. The formation of the magmatic complexes was associated with partial melting of lower crustal basites due to magmatic underplating at the base of the lower crust. This inference follows from Sm-Nd (whole-rock) and Lu-Hf (zircon): $\epsilon_{Nd} = -1.0 \div +3.0$; $\epsilon_{Hf} = -3.8 \div +1.5$ isotopic data with model ages of 3.1–2.9 Ga. The significant predominance of acid products over basic rocks in the Keivy structure is determined by the modern erosion level. The gabbro-anorthosite massifs in large regional faults are likely a part of significant volumes of basites located at greater depths. The subsequent evolution of the Keivy structure is associated with metasomatic processes and crystallization of rare metal and rare earth pegmatites of Paleoproterozoic age, 1.75–1.71 Ga.

Keywords: U-Pb, Sm-Nd, Lu-Hf isotope systems; gabbro-anorthosite; alkaline granites; Keivy structure; Kola region

For citation: Kudryashov N. M., Mokrushin A. V., Serov P. A. Archean anorthosite and subalkaline magmatism of the Keivy structure (Kola region): geochronological and isotope-geochemical studies. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2026. No. 2. P. 120–123. doi: 10.17076/geo2187

Funding. This research was funded by the Russian Science Foundation (project # 25-27-20005).

Кейвская структура имеет явно выраженные и существенные отличия от окружающих ее крупных блоков коры Кольского региона. Главными ее особенностями являются: обширные поля осадочно-вулканогенных толщ, широкое площадное распространение щелочных гранитов; наличие продуктов базитового магматизма, размещенных преимущественно в краевых частях структуры в виде габбро-анортозитовых массивов. Имеющиеся в настоящее время изотопно-геохронологические данные по породным комплексам Кейвской структуры остаются неполными, что порождает множество вопросов, связанных с возрастом отдельных толщ и последовательностью формирования структуры в целом. Первые систематизированные данные об изотопном возрасте пород Кейвской структуры были опубликованы в [Баянова и др., 2002]. В этом каталоге наиболее ранней датировкой разреза структуры является возраст образования кислых вулканитов лебяжинской свиты Малых Кейв 2871 ± 15 млн лет [Беляев и др., 2001], на которой залегают все остальные выделяемые в составе разных свит сланцы

[Бельков, 1963; Белолипецкий и др., 1980]. Время формирования метаосадочных толщ основано преимущественно на $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -определениях детритовых цирконов, возраст областей сноса которых указывает на неоархейское время $\sim 2,7$ млрд лет [Bridgwater et al., 2001]. Последующая эволюция Кейвской структуры фиксируется внедрением габбро-анортозитов и щелочных гранитов в промежуток времени 2,76–2,65 млрд лет, указывая на их тесную генетическую связь [Баянова, 2004; Zozulya et al., 2005; Вревский, Львов, 2014]. В работе [Balagansky et al., 2021] показано, что U-Pb (циркон) возраст кристаллизации кислых вулканитов из пород Больших Кейв составил 2678 ± 7 млн лет и оказался практически на 200 млн лет моложе предыдущего значения для вулканитов лебяжинской свиты. В составе щелочногранитного магматизма наряду с щелочными гранитами был выделен и определен возраст циркона из даек гранитного состава, щелочных вулканитов и щелочных габбро, время образования которых 2,68–2,66 млрд лет [Ветрин, Родионов, 2009]. Эти значения,

в пределах ошибки измерений, оказались практически идентичны полученным ранее. Для габбро-анортозитового магматизма на основе локального анализа кристаллов циркона определен U-Pb (SHRIMP) возраст кристаллизации Цагинского и Ачинского массивов в 2,67–2,66 млрд лет, а также установлено время внедрения субщелочных даек в габбро-анортозиты Цагинского массива с возрастом 2671 ± 2 млн лет. Более поздние эпохи в эволюции Кейвской структуры фиксируются палеопротерозоем 1,8–1,7 млрд лет. В приконтактной зоне щелочных гранитов Западно-Кейвского массива с гнейсами лебяжинской серии возраст циркона из жил лейкогранитов определен в 1747 ± 16 млн лет [Ветрин, Родионов, 2009]. В это же время при тектоно-метаморфических событиях в Кейвской структуре происходили процессы метасоматоза с формированием тел амазонитовых пегматитов. При изучении метасоматических пород покрова Больших Кейв возраст метасоматического циркона определен в 1721 ± 15 млн лет [Бушмин и др., 2011]. Последние исследования практически неизменных зон циркона U-Pb (LA ICP-MS) из амазонитовых пегматитов г. Плоской установили их конкордантный возраст в 1713 ± 5 млн лет. То есть после формирования осадочно-вулканогенных толщ, щелочных гранитов и габбро-анортозитов в неархейское время 2,87–2,66 млрд лет структура в целом оставалась стабильной на протяжении довольно длительного, около 1 млрд лет, промежутка времени до палеопротерозоя 1,8–1,7 млрд лет. Этот временной разрыв может быть связан как с особенностями автономного развития Кейвской структуры по отношению к сопредельным крупным структурам Кольского региона, так и с недостаточным изотопно-геохронологическим изучением других магматических комплексов, расположенных в пределах этой структуры. Таким образом, после формирования осадочно-вулканогенных комплексов Кейвской структуры в неархейское время с перерывом или сразу же происходило внедрение габбро-анортозитов и связанных с ними субщелочных и щелочных гранитов. Их образование связано с частичным плавлением нижнекорковых базитов за счет андерплейтинга в основании нижней коры. На это указывают Sm-Nd (по породе) и Lu-Hf (по циркону) изотопные данные с модельными возрастными 3,1–2,9 млрд лет назад. Значительное преобладание продуктов кислого магматизма над продуктами основного магматизма в Кейвской структуре определяется уровнем современного эрозионного среза. Габбро-анортозитовые массивы, приуроченные к крупным региональным разломам, вероятно, являются

частью значительных объемов базитов, находящихся на глубине. Последующая эволюция Кейвской структуры связана с метасоматическими процессами и внедрением редкометалльных и редкоземельных пегматитов палеопротерозойского возраста на рубеже 1,75–1,71 млрд лет.

Литература

Баянова Т. Б. Возраст реперных геологических комплексов Кольского региона и длительность процессов магматизма. М.: Наука, 2004. 172 с.

Баянова Т. Б., Пожиленко В. И., Смолькин В. Ф., Кудряшов Н. М., Каулина Т. В., Ветрин В. Р. Каталог геохронологических данных по северо-восточной части Балтийского щита: Приложение № 3 к монографии «Геология рудных районов Мурманской области» / Ред. Ф. П. Митрофанов. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 54 с.

Белолипецкий А. П., Гаскельберг В. Г., Гаскельберг Л. А., Антонюк Е. С., Ильин Ю. И. Геология и геохимия метаморфических комплексов раннего докембрия Кольского полуострова. Л.: Наука, 1980. 238 с.

Бельков И. В. Кианитовые сланцы свиты Кейв. М.-Л.: АН СССР, 1963. 322 с.

Беляев О. А., Митрофанов Ф. П., Баянова Т. Б., Петров В. П., Левкович Н. В. Позднеархейский возраст кислых метавулканитов района Малых Кейв (Кольский полуостров) // ДАН. 2001. Т. 379, № 5. С. 651–654.

Бушмин С. А. Новые данные о возрасте (SHRIMP-II) протолита и палеопротерозойских преобразований архейского Кейвского террейна (Кольский полуостров) // ДАН. 2011. Т. 438, № 2. С. 237–241.

Ветрин В. Р., Родионов Н. В. Геология и геохронология неархейского анорогенного магматизма Кейвской структуры, Кольский полуостров // Петрология. 2009. Т. 17, № 6. С. 578–600.

Вревский А. Б., Львов П. А. Изотопно-геохимические особенности и возраст анорогенных дифференцированных базитовых интрузий неархейской инфраструктурной зоны Колмозеро-Воронья – Кейвы (Кольский полуостров) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 17. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2014. С. 29–35.

Balagansky V. V., Myskova T. A., Lvov P. A., Larionov A. N., Gorbunov I. A. Neoproterozoic A-type acid metavolcanics in the Keivy Terrane, northeastern Fennoscandian Shield: Geochemistry, age, and origin // Lithos. 2021. Vol. 380–381. Art. 105899. doi: 10.1016/j.lithos.2020.105899

Bridgwater D., Scott D. J., Balagansky V. V., Timmerman M. J., Marker M., Bushmin A., Alexeyev N. L., Daly J. S. Age and provenance of Early Precambrian metasedimentary rocks in the Lapland-Kola Belt, Russia: evidence from Pb and Nd isotopic data // Terra Nova. 2001. Vol. 13, no. 1. P. 32–37. doi: 10.1046/j.1365-3121.2001.00307.x

Zozulya D. R., Bayanova T. B., Eby N. G. Geology and age of the Late Archean Keivy Alkaline Province, Northeastern Baltic Shield // J. Geol. 2005. Vol. 113. P. 601–608.

References

Bayanova T. B. Age of reference geological complexes of the Kola region and duration of magmatic processes. Moscow: Nauka; 2004. 172 p. (In Russ.)

Bayanova T. B., Pozhilenko V. I., Smol'kin V. F., Kudryashov N. M., Kaulina T. V., Vetrin V. R. Catalogue of geochronological data from the north-eastern part of the Baltic Shield. Appendix No. 3 to the monograph 'Geology of ore regions of the Murmansk Region'. Apatity: KNTs RAN; 2002. 54 p. (In Russ.)

Balagansky V. V., Myskova T. A., Lvov P. A., Lariovov A. N., Gorbunov I. A. Neoproterozoic A-type acid metavolcanics in the Keivy Terrane, northeastern Fennoscandian Shield: Geochemistry, age, and origin. *Lithos*. 2021; 380–381:105899. doi: 10.1016/j.lithos.2020.105899

Bel'kov I. V. Kyanite shales of the Keivy suites. Moscow-Leningrad: AN SSSR; 1963. 322 p. (In Russ.)

Belolipetskii A. P., Gaskel'berg V. G., Gaskel'berg L. A., Antonyuk E. S., Il'in Yu. I. Geology and geochemistry of the Early Precambrian metamorphic complexes of the Kola Peninsula. Leningrad: Nauka; 238 p. (In Russ.)

Belyaev O. A., Mitrofanov F. P., Bayanova T. B., Petrov V. P., Levkovich N. V. The Late Archean age of acid metavolcanic rocks in the Malye Keivy region (Kola Peninsula). *Dokl. Earth Sci.* 2001;379A:705–708.

Bridgwater D., Scott D. J., Balagansky V. V., Timmerman M. J., Marker M., Bushmin A., Alexeyev N. L., Daly J. S. Age and provenance of Early Precambrian metasedimentary rocks in the Lapland-Kola Belt, Russia: evidence from Pb and Nd isotopic data. *Terra Nova*. 2001;13(1):32–37. doi: 10.1046/j.1365-3121.2001.00307.x

Bushmin S. A. New data on the age (SHRIMP-II) of the protolith and Paleoproterozoic transformations of the Archean Keivy Terrane (Kola Peninsula). *Dokl. Earth Sci.* 2011;438(2):237–241. (In Russ.)

Vetrin V. R., Rodionov N. V. Geology and geochronology of the Neoproterozoic anorogenic magmatism of the Keivy structure, Kola Peninsula. *Petrologiya = Petrology*. 2009;17(6):578–600. (In Russ.)

Vrevsky A. B., Lvov P. A. Isotope-geochemical features and age of anorogenic differentiated basic intrusions of the Neoproterozoic infrastructure in the Kolmozero-Voronya – Keivy zone (Kola Peninsula). *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii = Geology and Useful Minerals of Karelia*. Iss. 17. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2014. P. 29–35. (In Russ.)

Zozulya D. R., Bayanova T. B., Eby N. G. Geology and age of the Late Archean Keivy Alkaline Province, Northeastern Baltic Shield. *J. Geol.* 2005;113: 601–608.

Поступила в редакцию / received: 05.08.2025; принята к публикации / accepted: 03.09.2025.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Кудряшов Николай Михайлович

канд. геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник
e-mail: n.kudryashov@ksc.ru

Мокрушин Артем Васильевич

канд. геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник
e-mail: a.mokrushin@ksc.ru

Серов Павел Александрович

канд. геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник
e-mail: p.serov@ksc.ru

CONTRIBUTORS:

Kudryashov, Nikolai

Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Leading Researcher

Mokrushin, Artyom

Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Leading Researcher

Serov, Pavel

Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Leading Researcher