

УДК 553.411 (470.21)

АРХЕЙСКАЯ ЭПОХА РЕДКОМЕТАЛЛЬНОГО (Li, Cs) ПЕГМАТИТООБРАЗОВАНИЯ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТА

Н. М. Кудряшов^{1*}, Е. В. Галеева¹, О. В. Удоратина²,
А. А. Калинин¹, М. Гроув³

¹ Геологический институт ФИЦ КНЦ РАН (ул. Ферсмана, 14, Апатиты, Россия, 184209),
*nik@geoksc.apatity.ru

² Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (ул. Первомайская, 54, Сыктывкар,
Республика Коми, Россия, 167982)

³ Стэнфордский университет (Стэнфорд, Калифорния, США, 94305)

Приведены результаты изотопно-геохронологического изучения циркона из редкометалльных пегматитов месторождения Охмыльк и Васин-Мыльк. До настоящего времени не было достоверных данных о возрасте лепидолит-сподумен-поллуцитовых пегматитов архейского зеленокаменного пояса Колмозеро – Воронья. Предполагаемые оценки указывали на довольно широкий временной диапазон от 2,7 до 1,7 млрд лет. Новые U-Pb (SHRIMP-RG) изотопно-геохронологические данные по циркону из пегматитовых жил месторождения Охмыльк с возрастом 2607 ± 9 и 2619 ± 29 млн лет для месторождения Васин-Мыльк отражают время их кристаллизации. Полученные результаты свидетельствуют о неоархейском времени образования месторождений на рубеже 2,65–2,60 млрд лет, отражая глобальную эпоху архейского редкометалльного пегматитообразования. Изотопные данные с возрастом ~1,9–1,6 млрд лет указывают на более поздние, вероятно, гидротермально-метасоматические преобразования.

Ключевые слова: редкометалльные (Li, Cs) пегматиты; U-Pb изотопный возраст; SHRIMP-RG; циркон; месторождения Охмыльк и Васин-Мыльк; Фенноскандинавский щит

Для цитирования: Кудряшов Н. М., Галеева Е. В., Удоратина О. В., Калинин А. А., Гроув М. Архейская эпоха редкометалльного (Li, Cs) пегматитообразования в северо-восточной части Фенноскандинавского щита // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 5. С. 68–72. doi: 10.17076/geo1670

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 22-27-00589.

**N. M. Kudryashov^{1*}, E. V. Galeeva¹, O. V. Udoratina², A. A. Kalinin¹, M. Grove³.
THE ARCHEAN STAGE OF RARE-METAL (Li, Cs) PEGMATITE FORMATION
IN THE NORTH-EASTERN PART OF THE FENNOSCANDIAN SHIELD**

¹ Geological Institute, Kola Science Center, Russian Academy of Sciences (14 Fersmana St., 184209 Apatity, Murmansk Region, Russia), *nik@geoksc.apatity.ru

² Institute of Geology, Komi Science Center, Ural Branch, Russian Academy of Sciences (54 Pervomayskaya St., 167982 Syktyvkar, Komi Republic, Russia)

³ Stanford University, Department of Geological Sciences (Stanford, California, USA, 94305)

The results of an isotopic geochronological study of zircons from rare-metal pegmatite deposits Okhmyl'k and Vasin-Myl'k are presented. No reliable data on the age of pollucite-spodumene-lepidolite pegmatite veins in the Kolmozero – Voron'ya Archean greenstone belt were previously available and the age estimations varied in a long time interval from 2.7 to 1.7 Ga. New U-Pb (SHRIMP-RG) data for zircons indicate crystallization of pegmatite at 2607 ± 9 Ma in the Okhmyl'k and at 2619 ± 29 Ma in the Vasin-Myl'k. This age corresponds to the global Archean stage of rare-metal pegmatite formation at 2.65–2.60 Ga. Isotope dates of ~1.9–1.6 Ga indicate the age of later hydrothermal-metasomatic processes in the pegmatite veins.

Keywords: rare-metal (Li, Cs) pegmatite; U-Pb isotope age; SHRIMP-RG; zircon; Okhmyl'k and Vasin-Myl'k deposits; Fennoscandian Shield

For citation: Kudryashov N. M., Galeeva E. V., Udoratina O. V., Kalinin A. A., Grove M. The Archean stage of rare-metal (Li, Cs) pegmatite formation in the north-eastern part of the Fennoscandian Shield. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022;5:68–72. doi: 10.17076/geo1670

Funding. The study was supported by the Russian Science Foundation grant # 22-27-00589.

Один из подходов к систематическому изучению эволюции Земли – это анализ глобальных геологических эпох [Bradley, 2011]. Выявление и обоснование подобных эпох в развитии планеты базируются прежде всего на сборе данных из большого количества опубликованных работ по распределению возрастных определений для пород и минералов. Месторождения редкометалльных пегматитов присутствуют на всех континентах и охватывают примерно 3 млрд лет истории Земли, начиная с мезоархея. Глобальное возрастное распределение эпох редкометалльного пегматитообразования сходно с распределением обычных пегматитов, орогенных гранитов и детритовых цирконов. Пиковые временные импульсы образования пегматитов приходятся на рубежи около 2640, 1800, 960, 485 и 310 млн лет назад и соответствуют периодам коллизионного орогенеза и сборки суперконтинентов. Между этими импульсами были длительные промежутки времени, когда пегматиты формировались в незначительных масштабах или вообще не образовывались [Tkachev, 2011; McCauley, Bradley, 2014]. Среди архейских крупных месторождений семейства LCT (литий-цезий-тантал) можно отметить пегматиты Гринбушес в Западной Австралии (воз-

раст 2527 млн лет), пегматиты Бикита в Зимбабве (~ 2650 млн лет) и пегматиты Танко в Канаде (2640 млн лет).

Крупные месторождения редкометалльных LCT-пегматитов, которые выделяются в северо-восточной части Фенноскандинавского щита, сконцентрированы в зеленокаменном поясе Колмозеро – Воронья. Пояс расположен в зоне глубинного разлома на границе трех крупных блоков – Мурманского, Кольско-Норвежского и Кейвского, сложен преимущественно метаморфизованными осадочно-вулканогенными породами позднеархейского возраста (2,9–2,8 млрд лет). Породы осадочно-вулканогенного комплекса прорываются более поздними (2,73–2,68 млрд лет) высокомагнезиальными интрузиями дифференцированной серии габбро-гранодиорит-гранитного состава (санукитоиды), а также турмалин-мусковитовыми и микроклиновыми гранитами (2,7–2,5 млрд лет). В пределах пояса расположены два крупных поля редкометалльных пегматитов (Li, Cs с попутными Nb, Ta, Be). В северо-западной части располагаются месторождения лития и цезия Охмыльк, Васин-Мыльк, Оленинское и Полмостундра, в юго-восточной части – крупнейшее литиевое месторождение сподуменовых пегматитов Колмозерское. Месторождения

пегматитов, размещенные в северо-западной части, обнажаются среди амфиболитов пояса, Колмозерские сподуменовые пегматиты прорывают интрузивное тело габбро-анортозитов Патчемварекского массива с возрастом 2,93 млрд лет [Кудряшов, Мокрушин, 2011].

Изотопно-геохронологические определения жил различных пегматитов и гранитоидов, выделяемых в пределах пояса, по имеющимся данным, охватывают довольно широкий временной диапазон – 2,7–1,7 млрд лет. В последние годы были получены новые изотопно-геохронологические результаты для гранитоидов, как возможных источников вещества для редкометалльных пегматитов. Возрастные данные для турмалин-мусковитовых гранитов северо-западного поля оцениваются в ~ 2,6–2,5 млрд лет, для юго-восточной части пояса, в районе размещения сподуменовых пегматитов Колмозерского месторождения, определен возраст турмалин-мусковитовых гранитов 2,8–2,7 млрд лет [Kudryashov et al., 2020]. Эти разрозненные данные до настоящего времени не позволяли дать точную оценку возраста каждого из месторождений, поэтому были поставлены задачи изотопно-геохронологического изучения циркона из пегматитовых жил локальным U-Pb (SHRIMP-RG) методом.

Месторождение Охмыльк. Пегматитовое поле месторождения занимает площадь около 600 м², прослеживается по простиранию на 1,25 км и характеризуется высокой насыщенностью пегматитовыми жилами. Для геохронологического изучения была взята проба из жилы лепидолит-турмалин-сподуменового состава. Циркон, выделенный из пробы, представлен идиоморфными, изометричными и близкими к изометричным дипирамидальными и дипирамидально-призматическими полупрозрачными трещиноватыми кристаллами, реже ксеноморфными зернами серого, серо-коричневого цвета. Размеры не превышают 1 мм и наиболее часто составляют 0,3–0,5 мм. Индивиды циркона развиты преимущественно с альбитом и кварцем, присутствуют сростания циркона с минералами группы колумбита. Внутреннее строение циркона характеризуется центральными участками в виде пятнистой текстуры с включениями урановых оксидов, во внешних частях некоторых кристаллов отчетливо выделяются узкие участки с признаками поздней перекристаллизации.

Для четырех проанализированных точек циркона из центральных зон получен дискордантный возраст 2607 ± 9 млн лет, СКВО = 0,87 (рис.), который отражает время форми-

рования пегматитов месторождения Охмыльк. Аналитические данные для двух точек из перекристаллизованных зон по $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ составили ~1,7–1,6 млрд лет, что указывает на более поздние, вероятно, метасоматически-гидротермальные процессы.

Месторождение Васин-Мыльк. Пегматитовое поле месторождения Васин-Мыльк с продуктивной ассоциацией лепидолит-альбит-микроклин-сподумен-поллуцит расположено среди амфиболитов. Незначительные по размеру участки выходов пегматитов на поверхность прослежены на глубину при прохождении шурфов и скважин. Месторождение представляет собой субпараллельные пологие зональные жилы протяженностью до 220 м при мощности 5 м. Среди разнообразных минералов, часто представленных в пегматитовых жилах несколькими генерациями, к наиболее ранним относятся минералы группы колумбита-танталита, микролит, симпсонит, торолит, циркон [Волошин, Пахомовский, 1988]. Ранее был проанализирован микролит ранней генерации U-Pb (ID TIMS) методом, возраст которого составил 2454 ± 8 млн лет [Кудряшов и др., 2015]. Циркон из пегматитовых жил здесь представлен двумя резко отличающимися по составу генерациями: высокоурановые единичные кристаллы ранней генерации, а также основная масса практически безуранового высокогафниевого циркона поздней генерации. Для циркона поздней генерации, в котором содержание урана составляло всего 0,2–0,3 ppm, не представлялось возможным определение U-Pb-возраста [Kudryashov et al., 2019]. U-Pb-методом были проанализированы несколько кристаллов циркона ранней генерации. Циркон этой генерации представлен идиоморфными, изометричными дипирамидально-призматическими полупрозрачными трещиноватыми кристаллами темно-коричневого и серого цвета. Внутреннее строение циркона характеризуется фазовой неоднородностью, где выделяются центральные и краевые зоны. Центральные зоны обогащены ураном, PЗЭ и иттрием, $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U} = 0,01–0,02$. Краевые участки содержат значительно меньшие концентрации урана, иттрия и PЗЭ, $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U} = 0,3–0,8$.

Для четырех проанализированных точек циркона из центральных зон получен близконкордантный возраст 2619 ± 29 млн лет, СКВО = 2,2 (рис.), который отражает время формирования пегматитов месторождения Васин-Мыльк. Аналитические данные трех точек из краевых зон по отношению $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ составили 1,9–1,6 млрд лет, что указывает на более поздние события.

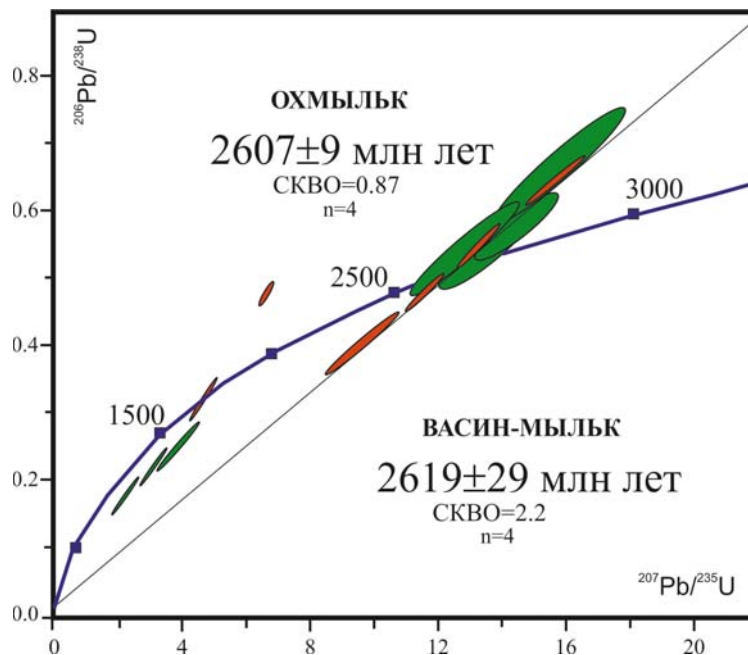


Диаграмма с конкордией для циркона из месторождений Охмыльк (красные эллипсы) и Васин-Мыльк (зеленые эллипсы)
 Concordia diagram for the magmatic zircon from the Okhmyl'k (green ellipses), Vasin-Mylyk (red ellipses) deposits

Полученные изотопные возрасты магматического циркона 2607 ± 9 млн лет для месторождения Охмыльк и 2619 ± 29 млн лет для месторождения Васин-Мыльк служат надежной оценкой времени их кристаллизации, отражая глобальную эпоху пегматитообразования, с которой связаны формирования крупнейших мировых редкометалльных месторождений на рубеже 2,60–2,65 млрд лет. Образование внешних каем связано с полной перекристаллизацией циркона в палеопротерозойское время на рубеже 1,9–1,6 млрд лет назад. Анализ литературных данных показывает, что основные геолого-минералогические и геохимические характеристики ЛСТ-пегматитов со временем практически не изменялись. Тем не менее отмечается, что архейские ЛСТ-пегматиты образовались из метаглиноземистых исходных расплавов, в отличие от более молодых пегматитов, связанных с перглиноземистыми расплавами [Martin, De Vito, 2005]. Этот вывод подтверждается и изучением древнейшего (хаддейского) обломочного циркона Джек-Хиллз [Trail et al., 2017].

Литература

Волошин А. В., Пахомовский Я. А. Минералогия тантала и ниобия в редкометалльных пегматитах. Л.: Наука, 1988. 240 с.

Кудряшов Н. М., Мокрушин А. В. Мезоархейский габбро-анортозитовый магматизм Кольского региона: петрохимические, геохронологические и изотопно-геохимические данные // Петрология. 2011. Т. 19, № 2. С. 173–189.

Кудряшов Н. М., Лялина Л. М., Апанасевич Е. А. Возраст редкометалльных пегматитов месторождения Васин-Мыльк (Кольский регион): результаты геохронологического U-Pb-исследования микролита // ДАН. 2015. Т. 461, № 4. С. 437–441.

Bradley D. C. Secular trends in the geologic record and the supercontinent cycle // Earth-Science Reviews. 2011. Vol. 108, iss. 1-2. P. 16–33. doi: 10.1016/j.earscirev.2011.05.003

Kudryashov N. M., Udoratina O. V., Coble M., Steshenko E. N. Geochronological and geochemical study of zircon from tourmaline-muscovite granites of the Archaean Kolmozero-Voronya Greenstone Belt: Insights into sources of the rare-metal pegmatites // Minerals. 2020. Vol. 10(9). Art. 760. doi: 10.3390/min10090760

Kudryashov N. M., Skublov S. G., Galankina O. L., Udoratina O. V., Voloshin A. V. Abnormally high-hafnium zircon from rare-metal pegmatites of the Vasin-Mylyk deposit (the northeastern part of the Kola Peninsula) // Geochemistry. 2019. Vol. 80, no. 3. doi: 10.1016/j.geoch.2018.12.001

Martin R. F., De Vito C. The patterns of enrichment in felsic pegmatites ultimately depend on tectonic setting // Can. Mineral. 2005. Vol. 43. P. 2027–2048.

McCauley A., Bradley D. C. The global age distribution of granitic pegmatites // Can. Mineral. 2014. Vol. 52. P. 183–190. doi: 10.3749/canmin.52.2.183

Tkachev A. V. Evolution of metallogeny of granitic pegmatites associated with orogens throughout geological time. Geological Society, London, Special Publications. 2011. Vol. 350. P. 7–23. doi: 10.1144/SP350.2

Trail D., Tailby N., Wang Y., Harrison T. M., Boehnke P. Aluminum in zircon as evidence for peraluminous and metaluminous melts from the Hadean to present // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2017. Vol. 18, iss. 4. P. 1580–1593. doi: 10.1002/2016GC006794

References

Bradley D. C. Secular trends in the geologic record and the supercontinent cycle. *Earth-Science Reviews*. 2011;108(1-2):16–33. doi: 10.1016/j.earscirev.2011.05.003

Kudryashov N. M., Mokrushin A. V. Mesoarchean gabbroanorthosite magmatism of the Kola Region: Petrochemical, geochronological, and isotope-geochemical data. *Petrology*. 2011;19:167–182. doi: 10.1134/S086959111102007X

Kudryashov N. M., Lyalina L. M., Apanasevich E. A. Age of rare metal pegmatites from the Vasin-Mylk deposit (Kola Region): Evidence from U–Pb geochronology of microlite. *Doklady Earth Sciences*. 2015;461(2):321–325. doi: 10.1134/S1028334X15040042

Kudryashov N. M., Udoratina O. V., Coble M., Steshenko E. N. Geochronological and geochemical

study of zircon from tourmaline-muscovite granites of the Archaean Kolmozero–Voronya Greenstone Belt: Insights into sources of the rare-metal pegmatites. *Minerals*. 2020;10(9):760. doi: 10.3390/min10090760

Kudryashov N. M., Skublov S. G., Galankina O. L., Udoratina O. V., Voloshin A. V. Abnormally high-hafnium zircon from rare-metal pegmatites of the Vasin-Mylk deposit (the northeastern part of the Kola Peninsula). *Geochemistry*. 2019;80(3):125489. doi: 10.1016/j.geoch.2018.12.001

Martin R. F., De Vito C. The patterns of enrichment in felsic pegmatites ultimately depend on tectonic setting. *Can. Mineral*. 2005;43:2027–2048.

McCauley A., Bradley D. C. The global age distribution of granitic pegmatites. *Can. Mineral*. 2014;52:183–190. doi: 10.3749/canmin.52.2.183

Tkachev A. V. Evolution of metallogeny of granitic pegmatites associated with orogens throughout geological time. Geological Society, London, Special Publications. 2011;350:7–23. doi: 10.1144/SP350.2

Trail D., Tailby N., Wang Y., Harrison T. M., Boehnke P. Aluminum in zircon as evidence for peraluminous and metaluminous melts from the Hadean to present. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2017;18(4):1580–1593. doi: 10.1002/2016GC006794

Voloshin A. V., Pakhomovsky Ya. A. Ta and Nb mineralogy in rare-metal pegmatites. Leningrad: Nauka; 1988. 240 p. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 22.08.2022; принята к публикации / accepted: 25.08.2022.
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: nik@geoksc.apatity.ru

Галеева Елена Викторовна

аспирант

e-mail: uthg@mail.ru

Удоратина Оксана Владимировна

канд. геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник

e-mail: udoratina@geo.komisc.ru

Калинин Аркадий Авенирович

канд. геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник

e-mail: kalinin@geoksc.apatity.ru

Гроув Мартин

профессор геологических наук

e-mail: coblem@stanford.edu

CONTRIBUTORS:

Kudryashov, Nikolai

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

Galeeva, Elena

Graduate Student

Udoratina, Oksana

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

Kalinin, Arkady

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

Grove, Martin

Professor of Geological Sciences