

## Редкометальные пегматитовые месторождения зеленокаменного пояса Колмозеро-Воронья (Кольский регион)

Галеева Е.В., Кудряшов Н.М.

Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, uthg@mail.ru; nik@geoksc.apatity.ru

**Аннотция.** В работе приведен краткий обзор редкометальных пегматитов, расположенных в пределах зеленокаменного пояса Колмозеро-Воронья. Описаны геологические и минералогические характеристики редкометальных (Li, Cs) пегматитовых месторождений: сподумен-поллуцитовые жилы Охмыльк и Васин-Мыльк, комплексное (Li, Cs, Ta) редкометальное месторождение Полмос и Колмозерское месторождение сподуменовых пегматитов. Проведен анализ имеющихся изотопно-геохронологических данных по этим месторождениям, показано их место в глобальных эпохах редкометального пегматитообразования и приведена оценка мировых запасов лития.

**Ключевые слова:** месторождения Li, Cs и Ta, редкометальные пегматиты, зеленокаменный пояс Колмозеро-Воронья, Фенноскандинавский щит.

## Rare-metal pegmatite deposits of the Kolmozero-Voronya greenstone belt (Kola region)

Galeeva E.V., Kudryashov N.M.

Geological Institute KSC RAS, Apatity, Russia, uthg@mail.ru; nik@geoksc.apatity.ru

**Abstract.** The paper presents a brief review of rare-metal pegmatites located within the Kolmozero-Voronya greenstone belt. Described below are the geological and mineralogical characteristics of rare-metal (Li, Cs) pegmatite deposits: Okhmylk and Vasin-Mylk spodumene-pollucite deposits, complex Polmos deposit and Kolmozerskoe deposit of spodumene pegmatites. The analysis of available isotope-geochronological data on these deposits was carried out and their place in the global epochs of rare-metal pegmatite formation was shown, an assessment of the world reserves of lithium was also provided.

**Keywords:** deposits of Li, Cs and Ta, rare-metal pegmatites, Kolmozero-Voronya greenstone belt, Fennoscandian Shield.

### **Введение и общая характеристика редкометальных пегматитов**

Редкометальные пегматиты являются важным источником Li, Cs, Ta, Nb и других редких металлов. Они размещены на всех континентах, основная масса которых сложена архейскими и протерозойскими породами (Černý, 1991; London, 2018; Tkachev, 2011; McCauley, Bradley, 2014; Редкометалльные пегматиты..., 1997). Наиболее крупные из известных месторождений: Танко в Канаде (Černý, Ferguson, 1972), Кинг-Маунтин в США (Kesler et al., 2012), пегматиты Гринбушес в Западной Австралии (Hatcher, Clynick, 1990; Partington, 1990; Partington et. al., 1995), месторождение Коктагайское на Алтае (Анникова и др., 2016).

По данным (Černý, 1991) редкометальные пегматиты относятся к гранитам S-типа (Chappell, White, 2001). LCT (Li, Cs, Ta) пегматиты богаты Be, Rb, Ga, Nb, Sn, В, Р и F (London, 2008). Образование редкометальных пегматитов в основном происходило на синорогенном или анорогенном этапах развития крупных структур (Černý, 1992; Černý, Ercit, 2005). Содержания РЗЭ в пегматитах LCT обычно незначительны (Duc-Tin, Keppler, 2015). Существует несколько моделей формирования редкометальных пегматитов: 1) двухэтапная метасоматическая модель, которая основана на воздействии остаточных флюидов в закрытой системе, где происходит перекристаллизация близкой по составу к граниту исходной породы, после чего уже в условиях открытой системы идет замещение новыми минеральными ассоциациями в простых по составу пегматитах (Заварицкий, 1947); 2) двухэтапная магматогенно-пневматолито-гидротермальная модель. В начале на магматогенной стадии идет образование простых пегматитов, затем в результате глубинных растворов в пневматолито-гидротермальном этапе кристаллизуются сложные по составу пегматиты (Гинз-

бург, 1983; Cameron et al., 1949); 3) редкометальные пегматиты образуются в закрытой системе за счет кристаллизационной дифференциации гранитной магмы (Küster et al., 2009); 4) образование пегматитов связано с флюидонасыщенными магматическими расплавами, которые обогащены редкими элементами (London, 2008). Так же предполагается, что происхождение пегматитов ЛСТ-типа связано с их кристаллизацией из остаточных гранитных расплавов, которые обогащены флюидами. Эти флюиды ( $H_2O$ , F, P, B) понижают температуру, при которой формируются редкометальные пегматиты, а так же вязкость и плотность расплава.

В пределах Фенноскандинавского щита расположено месторождение редкометальных пегматитов Каустинен (Финляндия), а также рудопроявления пегматитов на территории Швеции и Карелии. В Кольском регионе редкометальные пегматиты локализованы преимущественно в архейском зеленокаменном поясе Колмозеро-Воронья. В северо-западной части это месторождения Охмыльк, Васин-Мыльк, Полмос, в юго-восточной части Колмозерское месторождение сподуменовых пегматитов (Гинзбург, 1950; Соседко, 1961; Волошин, Пахомовский, 1988).

Подсчитанные запасы Li в мировых источниках литиевой руды составляют первые миллионы тонн. Значительные содержания Li разведаны в редкометальных пегматитах Гринбушес, ресурсы лития здесь достигают 0.85 млн. тонн, в Кинг-Маунтин около 0.32 млн. тонн (Kesler et al., 2012). В пегматитах Охмыльк и Васин-Мыльк, содержания  $Li_2O$  около 5–10 %, Полмос 1.25–2.0 % (Производственный отчет..., 1994), в Колмозерском месторождении по разным оценкам сосредоточено примерно 26 % всех запасов Li в стране (Быховский, Архипова, 2016). Редкометальные пегматиты служат хорошей моделью для геолого-геохимического и минералогического изучения поведения рудных элементов в гранитно-пегматитовых системах и для дальнейшего совершенствования методов поиска редких металлов.

### ***Краткая характеристика месторождений редкометальных пегматитов зеленокаменного пояса Колмозеро-Воронья***

Архейский зеленокаменный пояс Колмозеро-Воронья расположен на границе трех крупных блоков: Мурманского, Центрально-Кольского и Кейвского. Пояс преимущественно состоит из метаморфизованных и деформированных осадочно-вулканогенных пород коматиит-толеитовой и базальт-андезит-дацитовой серий, возраст которых составляет 2.9–2.7 млрд лет и прорывается интрузиями от основного до кислого состава. Это интрузии базит-гипербазитов, кварцевых порфиров и высокомагнезиальных гранитоидов с возрастом 2.8–2.7 млрд лет. Завершается эволюция зеленокаменного пояса внедрением массивов турмалиновых и микроклиновых гранитов с гранитными пегматитами (Пушкарев и др., 1978; Белолипецкий и др., 1980; Ранний докембрий..., 2005; Кудряшов и др., 2015).

В северо-западной части поля расположены сподумен-поллуцитовые месторождения Охмыльк и Васин-Мыльк, а также месторождение Полмос. В сподумен-поллуцитовом месторождении Охмыльк разноориентированные лепидолит-сподумен-турмалиновые и мусковит-турмалиновые пегматитовые жилы размещаются в массивных амфиболитах пояса (Гинзбург, 1950). Пегматитовые тела несут в себе Cs и Li минерализацию. Сподумен распространен в жилах не равномерно и может служить попутным сырьем для получения лития. Турмалин представлен в виде черного минерала шерла и розового рубеллита. Пегматитовые тела сподумен-поллуцитового месторождения Васин-Мыльк также располагаются в амфиболитах. На поверхности обнажается только небольшое количество жил, остальные были вскрыты скважинами и шурфами. Жилы имеют субпараллельное, пологое залегание до 220 м при мощности 5 м и падением 10–30° на юго-восток. Поллуцит развит в ассоциации со сподуменом, лепидолитом, альбитом, микроклином. В месторождении отмечены минералы ряда колумбита-танталита, микролит, симпсонит и торолит (Соседко, 1961; Волошин, Пахомовский, 1988).

Основная часть пегматитовых тел месторождения Полмос залегает в амфиболитах и биотит-амфиболовых гнейсах, часть жил – в олигоклазовых гранито-гнейсах. Вместе с литиевым сподуменом здесь присутствуют минералы ряда колумбита-танталита и берилл (Производственный отчет..., 1994).

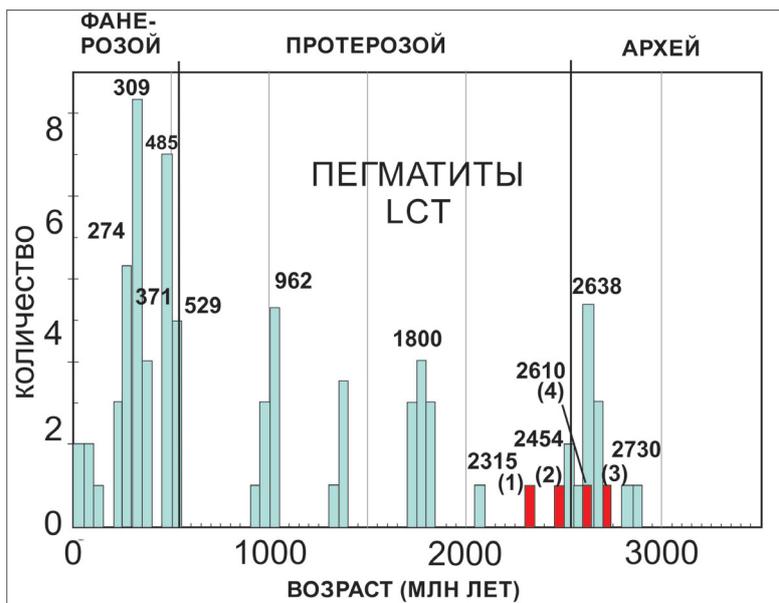


Рис. 1. Возрастные данные для пегматитов семейства LCT в мире (McCauley, Bradley, 2014). Голубые столбцы – эпохи образования редкометалльных пегматитов в мире, красные столбцы – возрасты месторождений редкометалльных пегматитов пояса Колмозеро-Воронья: (1) месторождение Колмозерское (Морозова и др., 2017); (2) месторождение Васин-Мыльк (Кудряшов и др., 2015); (3) гранитные пегматиты района Колмозеро (Пушкарев и др., 1978); (4) месторождение Охмыльк (Кудряшов и др., 2022 в печати).

Fig. 1. Age data for pegmatites of the LCT family in the world (McCauley and Bradley, 2014). Blue columns – epochs of formation of rare-metal pegmatites in the world, red columns – ages of deposits of rare-metal pegmatites of the Kolmozero-Voronya belt: (1) Kolmozerskoye deposit (Morozova et al., 2017); (2) Vasin-Mylyk deposit (Kudryashov et al., 2015); (3) granitic pegmatites of the Kolmozero area (Pushkarev et al., 1978); (4) Okhmylyk deposit (Kudryashov et al., 2022, in press).

В юго-восточной части пояса расположено крупное Колмозерское месторождение сподуменовых пегматитов, протяженностью около 20 км и шириной  $\approx 15$  км. Многочисленные жилы сподуменовых пегматитов прорывают габбро-анортозиты Патчемварекского массива. Пегматитовые тела залегают несогласно с вмещающими породами. Жилы крутопадающие на юго-запад ( $45\text{--}70^\circ$ ), простираются в северо-западном направлении ( $300\text{--}310^\circ$ ) и прослеживаются на глубину более 500 м. Мощность тел 5–65 м и длина самых крупных жил 1400 м (Морозова, 2018). По составу жилы преимущественно альбитовые, в которых отмечаются крупные кристаллы сподумена, размер которых достигает до 1 м и более.

Для редкометалльных пегматитов из всех рассмотренных месторождений зоны Колмозеро-Воронья характерно свыше 80 минералов из различных классов: самородные элементы, сульфиды и арсениды, окислы и сложные окислы, тантало-ниобаты, силикаты и их аналоги, фосфаты, карбонаты и галоиды. Самые представительные это микролит, мусковит, альбит, кукеит, биотит, апатит, трифилин, литеофилит, кальцит, флюорит и другие (Соседко, 1961).

Образование редкометалльных пегматитов связано со всеми глобальными эпохами в истории Земли. В архейское время пик формирования пегматитов находится в диапазоне 2.6–2.7 млрд. лет, в протерозое  $\sim 1.8$  млрд. лет и в фанерозое около 1 млрд. лет назад. Самая значительная эпоха формирования редкометалльных пегматитов приходится на палеозой на рубеже  $\sim 300$  млн. лет назад (McCauley, Bradley, 2014). Редкометалльные пегматиты пояса Колмозеро-Воронья, по имеющимся в настоящее время датировкам, формировались в архее-протерозое (рис. 1).

### Заключение

Редкометалльные пегматиты зеленокаменного пояса Колмозеро-Воронья являются важным источником сырья для пополнения ресурсной базы страны редкими элементами в частности Li, Cs, Ta и Nb, поэтому при изучении редкометалльных пегматитов пояса необходимо решить множе-

ство задач. Одной из задач является установление источников вещества для разных месторождений. Другой важной задачей является определение времени формирования месторождений на основе изотопно-геохронологических исследований, а также минералого-геохимическое изучение, направленное на выяснение условий кристаллизации гранит-пегматитовых систем в докембрийских комплексах.

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

## Литература

1. Анникова И.Ю., Владимиров А.Г., Смирнов С.З., Гаврюшкина О.А. Геология и минералогия алахинского месторождения сподуменовых гранит-порфиров (горный Алтай, Россия) // Геология рудных месторождений. 2016. Т. 58. № 5. С. 451–475. <https://doi.org/10.7868/S0016777016050026>.
2. 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. Изд-во: Наука. 1980. 240 с.
3. Быховский Л.З., Архипова Н.А. Редкометалльное сырье России: перспективы освоения и развития минерально-сырьевой базы // Разведка и охрана недр. 2016. № 11. С. 26–36.
4. Волошин А.В., Пахомовский Я.А. Минералогия тантала и ниобия в редкометалльных пегматитах. Л. Изд-во: Наука. 1988. 240 с.
5. Гинзбург И.В. Предварительный отчет: «Месторождения лепидолито-сподуменовых пегматитов г. Охмыльк-тундра» (район Воронинского погоста АН СССР). ГИ КФАН СССР. 1950. 58 с.
6. Гинзбург А.И. Генезис редкометалльных гранитных пегматитов // Геология и генезис пегматитов. Л. Изд-во: Наука. 1983. С. 96–112.
7. Заварицкий А.Н. О пегматитах как образованиях промежуточных между изверженными горными породами и рудными жилами // Зап. Всерос. минерал. обва. 1947. Ч. 76. № 1. С. 37–50.
8. Кудряшов Н.М., Лялина Л.М., Апанасевич Е.А. Возраст редкометалльных пегматитов месторождения Васин-Мыльк (Кольский регион): результаты геохронологического U-Pb исследования микролита // Докл. АН. 2015. Т. 461. № 4. С. 437–441.
9. Морозова Л.Н., Баянова Т.Б., Базай А.В., Лялина Л.М., Серов П.А., Борисенко Е.С., Кунаккузин Е.Л. Редкометалльные пегматиты Колмозерского литиевого месторождения Арктического региона Балтийского щита: новые геохронологические данные // Вестн. КНЦ РАН. 2017. № 1. С. 43–52.
10. Морозова Л.Н. Колмозерское литиевое месторождение редкометалльных пегматитов: новые данные по редкоэлементному составу (Кольский полуостров) // Литосфера. 2018. Т. 18. № 1. С. 82–98.
11. Пушкарев Ю.Д., Кравченко Э.В., Шестаков Г.И. Геохронометрические реперы докембрия Кольского полуострова Л. Изд-во: Наука. 1978. 136 с.
12. Ранний докембрий Балтийского щита (под ред. В.А. Глебовицкого) СПб. Изд-во: Наука. 2005. 711 с.
13. Редкометалльные пегматиты. Гранитные пегматиты (под ред. Б.М. Шмакина). Новосибирск. Изд-во: Наука. 1997. Т. 2. 286 с.
14. Соседко А.Ф. Материалы по геологии и геохимии гранитных пегматитов. М. Изд-во: Госгеолтехиздат. 1961. 152 с.
15. Производственный отчет «Месторождение лития Полмостундра». Фонды МГРЭ. 1994.
16. Cameron E.N., Jahns R.H., McNair A.H., Page L.R. Internal structure of granitic pegmatites. *Econ. Geol. Mon.* 1949. V. 2. 115 p.
17. Černý P., Ferguson R.B. The Tanco pegmatite at Bernic Lake, Manitoba. IV. Petalite and spodumene relations. *Canad. Miner.* 1972. N. 11. P. 660–678.
18. Černý P. Rare-element granite pegmatites. Part I: anatomy and internal evolution of pegmatite deposits. *Geosci. Can.* 1991. V. 18. P. 49–67.
19. Černý P. Geochemical and petrogenetic features of mineralization in rare-element granitic pegmatite in the light of current research. *Applied Geochemistry.* 1992. V. 7. P. 393–416.
20. 2Černý P., Ercit T.S. Classification of granitic pegmatites: Canadian Mineralogist. Rare-element granitic pegmatites. Part 1: Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits *Geoscience Canada.* 2005. V. 18. N. 2.
21. Chappell B.W., White A.J.R. Two contrasting granite types: 25 years later. *Aust. J. Earth Sci.* 2001. V. 48. P. 489–499.
22. Duc-Tin Q., Keppler H., Monazite and xenotime solubility in granitic melts and the origin of the lanthanide tetrad effect. *Contrib. Miner. Petrol.* 2015. 169 p. <https://doi.org/10.1007/s00410-014-1100-9>.
23. Hatcher M.I., Clynick G. Greenbushes Tin-Tantalum-Lithium deposit: in Hughes F.E. (Ed), *Geology of the Mineral Deposits of Australia // Papua New Guinea the AusIMM, Melbourne Mono.* 1990. N. 14. V. 1. P. 599–603.

24. Kesler S.E., Gruber P.W., Medina P.A., Keoleian G.A., Everson M.P., Wallington T.J. Global lithium resources: Relative importance of pegmatite, brine and other deposits. *Ore Geology Reviews*. 2012. V. 48. P. 55–69.
25. Küster D., Romer G., Tolessa D., Zerihun D., Bheemalingeswara K., Melcher F., Oberthur T. The Kenticha rare-element pegmatite, Ethiopia: internal differentiation, U-Pb age and Ta mineralization. *Mineralium Deposita*. 2009. P. 723–750.
26. London D. Pegmatites. *Canad. Mineral. Special Publication*. 2008. V. 10. 368 p.
27. London D. Ore-forming processes within granitic pegmatites. *Ore Geol. Rev.* 2018. V. 101. P. 349–383.
28. McCauley A., Bradley D.C. The global age distribution of granitic pegmatites. *Can. Mineral.* 2014. V. 52. P. 183–190.
29. Partington G.A. Environment and structural controls on the intrusion of the giant rare metal Greenbushes Pegmatite, Western Australia: in *Econ. Geol.* 1990. V. 85. P. 437–456.
30. Partington G.A., McNaughton N.J., Williams I.S. A review of the geology, mineralization, and geochronology of the Greenbushes Pegmatite, Western Australia: in *Econ. Geol.* 1995. V. 90. P. 616–635.
31. Tkachev A.V. Evolution of metallogeny of granitic pegmatites associated with orogens throughout geological time. *Geological Society, London, Special Publications*. 2011. V. 350. P. 7–23. <https://doi.org/10.1144/SP350.2>.