

Научная статья
УДК 541.35
doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.002

ЛИТИЙ — НОВЫЙ ПОЛЮС ПРИТЯЖЕНИЯ К КОЛЬСКОМУ РЕГИОНУ

**Иван Гундарович Тананаев¹, Сергей Владимирович Кривовичев²,
Сергей Владимирович Мудрук³, Алексей Владимирович Дуб⁴, Артём Сергеевич Вернигора⁵**

^{1, 2}Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук»,
Апатиты, Россия

³Геологический институт Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия

^{4, 5}«Наука и инновации», Москва, Россия

¹i.tananaev@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2159-8182>

²s.krivovichev@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8352-1394>

³s.mudruk@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2051-8769>

⁴alvdub@rosatom.ru

⁵arsevernigora@rosatom.ru

Аннотация

Дан обзор геологического строения Колмозёрского литиевого месторождения. Приведены сведения об актуальности геолого-минералогических исследований и поисков технологий обогащения и переработки spodumеновой руды из Колмозёрского литиевого месторождения, начатых Федеральным исследовательским центром «Кольский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ РАН) и Ведущим научно-исследовательским институтом химической технологии (ВНИИХТ).

Ключевые слова:

литий, сподумен, Колмозёрское месторождение, химическая технология, редкометалльные пегматиты

Для цитирования:

Литий — новый полюс притяжения к Кольскому региону / И. Г. Тананаев [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2023. Т. 14, № 1. С. 15–18. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.002

Original article

LITHIUM IS A NEW POLE OF ATTRACTION TO THE KOLA REGION

Ivan G. Tananaev¹, Sergey V. Krivovichev², Sergey V. Mudruk³, Alexey V. Dub⁴, Artem S. Vernigora⁵

^{1, 2}Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences”, Apatity, Russia

³Geological Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

^{4, 5}Science and Innovations, Moscow, Russia

¹i.tananaev@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2159-8182>

²s.krivovichev@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8352-1394>

³s.mudruk@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2051-8769>

⁴alvdub@rosatom.ru

⁵arsevernigora@rosatom.ru

Abstract

A review of the geological structure of the Kolmozerskoe lithium deposit is given. Information is given on the relevance of geological and mineralogical studies and searches for technologies for enrichment and processing of spodumene ore from the Kolmozersky lithium deposit, initiated by the FRC KSC RAS and ARRICT.

Keywords:

lithium, spodumene, Kolmozerskoe deposit, chemical technology, rare-metal pegmatites

For citation:

Lithium is a new pole of attraction to the Kola region / I. G. Tananaev [et al.] // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2023. Vol. 14, No. 1. P. 15–18. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.002

Сегодня мировой рынок лития — ключевого компонента для производства современных аккумуляторов — оказался в центре мирового внимания: невероятный ежегодный рост цен (до 20 %) на этот стратегический элемент с одновременным увеличением объёма его производства (до 40 % в год). Помимо литий-ионных аккумуляторов литий используется для получения трития в ядерной энергетике,

применяется в керамике и металлургии для повышения прочности сплавов. Согласно некоторым экспертным оценкам, ожидаемый спрос на литий в 2030 г. может составить 2–3 млн т. В настоящее время основная добыча лития ведётся из соляных месторождений в Чили, из гранитов в Китае и пегматитов в Австралии и Китае [1]. На эти три страны приходится 85 % мирового производства лития. Пегматиты семейства LCT (Li-Cs-Ta) являются главными источником лития из-за его высокой концентрации в рудах, где литий преимущественно содержится в сподумене. Крупнейшим в мире месторождением лития является Гринбушес в Австралии (штат Западная Австралия [2]), горнорудные предприятия которого стали основными продуцентами тантала в мире, они обеспечивают треть мирового рынка лития [3].

Россия занимает лидирующие позиции в мире по запасам редкометалльных пегматитов, при этом добыча лития в России не ведётся, что делает экономику РФ критически зависимой от его импорта. В 2022 г. ситуация усугубилась прекращением поставок в РФ основными производителями (Австралия — 46 % мирового экспорта; Чили — 24 %), и страна оказалась в ресурсном «капкане». В связи с этим налаживание добычи и производства лития в РФ из собственного сырья становится стратегически важной задачей.

Любое производство металла начинается с геологоразведки. Однако, что касается лития, на территории России уже давно был разведан ряд крупных месторождений, в которых сосредоточено свыше 8 млн т оксида лития [4]. В СССР, в Забайкалье, на Завитинском месторождении литий добывался с 1942 г., но с 1997 г. добыча была прекращена. В европейской части РФ, в пределах Фенноскандинавского щита, многие редкометалльные гранитные пегматиты содержат рудопроявления лития. Прежде всего, это такие месторождения и рудопроявления зоны Колмозеро-Воронья в Мурманской области, как: Колмозерское, Полмостундровское, Солдат-Мыльковское, Олений Хребет, Охмыльк и Васин-Мыльк. Большинство этих объектов находятся в труднодоступных арктических районах и требуют значительных предэксплуатационных работ и инвестиций.

В настоящее время наибольший интерес представляет крупнейшее в России Колмозерское литий-танталовое месторождение сподуменовых пегматитов [5], содержащее, по разным оценкам, от 18 до 26 % запасов лития страны [6]. Месторождение расположено в 60 км к северо-востоку от села Ловозеро, вблизи озера Колмозеро, в труднодоступной районе Мурманской области (гора Большой Патчемварек). Открыто сотрудниками Кольского филиала АН СССР А. А. Чумаковым и И. В. Гинсбург в 1947 г., изначально носило имя А. Е. Ферсмана. Оно представлено серией крупных и мелких жил альбит-сподуменовых пегматитов, секущими метагаббро-анортозиты Патчемварекского массива. Двенадцать крупных пегматитовых жил простираются в северо-западном направлении, имеют протяжённость около 1400 м при мощности до 65 м. Тела пегматитов осложнены апофизами, раздувами и пережимами и, по данным бурения, прослеживаются на глубину более 500 м. Альбит-сподуменовые пегматиты содержат ксенолиты рассланцованных вмещающих пород, что свидетельствует о внедрении пегматитового расплава в уже изменённые и деформированные в процессе метаморфизма габброанортозиты Патчемварекского массива. Возраст редкометалльных пегматитов Колмозерского месторождения оценивается U-Pb-методом по циркону в 2,7–2,6 млрд лет [7] и U-Pb-методом по колумбиту-(Mn) в $2315 \pm$ млн лет [8].

Основным минералом лития является сподумен, его содержание в породе около 20 %, и именно на него приходится до 97 % запасов лития на месторождении. Литиофилит, второй минерал-концентратор лития, содержит всего 0,3 % данного элемента [5]. Помимо этого, литий присутствует в слюдах и полевых шпатах [9]. Берилл и минералы группы колумбита являются акцессорными, но могут представлять промышленный интерес как потенциальный источник Be, Ta и Nb. Основные породообразующие минералы пегматитов представлены кварцем (30–35 %), плагиоклазом (30–35 %), калиевым полевым шпатом (10–25 %), сподуменом (≈ 20 %) и мусковитом (5–7 %) [10]. Рудные минералы — сподумен, колумбит-(Mn), танталит и берилл. Наиболее распространённые второстепенные и акцессорные минералы — литиофилит, биотит, турмалин, апатит, спессартин, сфалерит, пирит. Вторичные минералы представлены фосфатами и цеолитами. Всего в пегматитах Колмозерского месторождения установлено 64 минеральных вида [5, 10, 11].

Наиболее характерной особенностью текстурно-структурного строения жил альбит-сподуменовых пегматитов является слабо выраженная зональность. Основной объём жил (до 85–90 %) составляет

крупно- и гигантозернистый кварц-сподумен-полевошпатовый пегматит с бериллом, колумбитом, танталитом и досковидными кристаллами зеленоватого сподумена, размеры которого могут достигать 1,5 м в длину.

Сравнительный анализ Колмозерского месторождения с крупнейшим в мире месторождением лития Гринбушес [12] свидетельствует о том, что оба эти месторождения сходны по ряду ключевых параметров и отличаются лишь степенью проявления зональности в телах пегматитов, что дополнительно подтверждает перспективность Колмозерского месторождения.

Работы по актуализации данных по геологии, минералогии и геохимии литиевых месторождений Кольского региона были поставлены в Геологическом институте Кольского научного центра Российской академии наук в 2014 г. по инициативе академика РАН Ф.П. Митрофанова. Для определения технологических процессов переработки руды Колмозерского месторождения как наиболее перспективного из литиевых месторождений страны АО «ВНИИХТ» (предприятие научного дивизиона Госкорпорации «Росатом») и ФИЦ КНЦ РАН в 2022 г. начали совместные исследования, направленные на поиск оптимальных схем переработки сподумена. Технологическая обработка сподумена является сложным процессом по сравнению с процессами обогащения других литийсодержащих минералов, так как он устойчив по отношению к кислым и щелочным растворам. В настоящее время важно определить процессы, которые могут снизить стоимость обогащения руды с получением сподуменового концентрата, понизить стоимость производства карбоната и гидроксида лития, металлического лития и сплавов на его основе, а также необходимо разработать оптимальные схемы утилизации отходов производства для снижения уровня воздействия на окружающую среду при получении лития. Актуальными также представляются поиски технологий извлечения лития при условии его минимального содержания в руде.

Список источников

1. Garrett, D. E. Handbook of Lithium and Natural Calcium Chloride, their deposits, processing, uses and properties. 2004. Elsevier Academic Press. 476 p.
2. Partington G. A., McNaughton N. J., Williams I. S. A review of the geology, mineralization, and geochronology of the Greenbushes Pegmatite, Western Australia // *Economic Geology*. 1995. Vol. 90. pp. 616–635.
3. Allday A. Salt, Lithium and Other Mineral Mining in Australia — Industry Market Research Report. 2020. Sydney: IBIS World. 53 p.
4. Юсупов Т. С., Исупов В. П., Владимиров А. Г., Загорский В. Е., Кириллова Е. А., Шумская Л. Г., Шацкая С. С., Ляхов Н. З. Исследование вещественного состава и разделимости минералов техногенного сырья с целью оценки возможности получения литиевого концентрата // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2014. № 6. С. 144–150.
5. Гордиенко В. В. Минералогия, геохимия и генезис сподуменовых пегматитов. Л. Изд-во: Недра, 1970. 240 с.
6. 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.
7. Пушкарев Ю. Д., Кравченко Э. В., Шестаков Г. И. Геохронологические реперы докембрия Кольского полуострова. Л.: Наука, 1978. 135 с.
8. 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 // *Вестник Кольского научного центра РАН*. 2017. № 1. С. 43–52.
9. Морозова Л. Н., Базай А. В. Сподумен из редкометалльных пегматитов Колмозерского литиевого месторождения (Кольский полуостров) // *Записки Российского минералогического общества*. 2019. Т. 148, № 1. С. 65–78. doi:10.30695/zrmo/2019.1481.06
10. Морозова Л. Н. Колмозерское литиевое месторождение редкометалльных пегматитов: новые данные по редкоэлементному составу (Кольский полуостров) // *Литосфера*. 2018. Т. 18, № 1. С. 82–98. doi:10.24930/1681-9004-2018-18-1-082-098
11. Morozova L. N., Sokolova E. N., Smirnov S. Z., Balagansky V. V., Bazai A. V. Spodumene from rare-metal pegmatites of the Kolmozero lithium world-class deposit on the Fennoscandian shield: trace elements and crystal-rich fluid inclusions // *Mineralogical Magazine*. 2021. V. 85. pp. 149–160. doi:10.1180/mgm.2020.104
12. Pripachkin P. V., Kudryashov N. M., Rundkvist T. V., Morozova L. N. Lithium in pegmatites of the Fennoscandian Shield and operation prospects for the Kolmozero deposit on the Kola Peninsula (Russia) // *Applied Earth Science*. 2022. 131. 4. pp. 179–192. doi:10.1080/25726838.2022.2089966

References

1. Garrett, D. E. *Handbook of Lithium and Natural Calcium Chloride, their deposits, processing, uses and properties*, 2004, Elsevier Academic Press, 476 p.
2. Partington G. A., McNaughton N. J., Williams I. S. A review of the geology, mineralization, and geochronology of the Greenbushes Pegmatite, Western Australia. *Economic Geology*, 1995, vol. 90, pp. 616–635.
3. Allday A. *Salt, Lithium and Other Mineral Mining in Australia – Industry Market Research Report*. 2020. Sydney, IBIS World, 53 p.
4. Yusupov T. S., Isupov V. P., Vladimirov A. G., Zagorsky V. E., Kirillova E. A., Shumskaya L. G., Shatkaya S. S., Lyahov N. Z. Issledovanie veshchestvennogo sostava i razdelimosti mineralov tekhnogenogo syr'ya s cel'yu ocenki vozmozhnosti polucheniya litievogo koncentrata [Study of the material composition and separability of minerals of technogenic raw materials in order to assess the possibility of obtaining a lithium concentrate]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh* [Journal of Mining Science], 2014, No 6, pp. 144–150. (In Russ.).
5. Gordienko V. V. *Mineralogiya, geokhimiya i genesis spodumenovykh pegmatitov* [Mineralogy, geochemistry and genesis of spodumene pegmatites]. Leningrad, Nedra, 1970, 240 p. (In Russ.).
6. Bykhovsky L. Z., Arkhipova N. A. Redkometall'noe syr'e Rossii: perspektivy osvoeniya i razvitiya mineral'no-syr'evoy bazy [Rare metal raw materials in Russia: prospects for the development and development of the mineral resource base]. *Razvedka i ohrana nedr* [Exploration and protection of mineral resources], 2016, No 11, pp. 26–36. (In Russ.).
7. Pushkukarev Yu. D., Kravchenko E. V., Shestakova G. I. *Geohronologicheskie repery dokembriya Kol'skogo poluostrova* [Geochronological reference points of the Precambrian of the Kola Peninsula]. Leningrad, Nauka, 1978, 135 p. (In Russ.).
8. Morozova L. N., Bayanova T. B., Bazay A. V., Lyalina L. I., Serov P. A., Borisenko E. S., Kunakkuzin E. L. Redkometall'nye pegmatity Kolmozerskogo litievogo mestorozhdeniya Arkticheskogo regiona Baltijskogo shchita: novye geohronologicheskie dannye [Rare metal pegmatites of the Kolmozero lithium deposit of the Arctic region of the Baltic shield: new geochronological data]. *Vestnik Kol'skogo nauchnogo centra RAN* [Herald of the Kola Science Centre of RAS], 2017, No 1, pp. 43–52. (In Russ.).
9. Morozova L. N., Bazay A. V. Spodumene iz redkometall'nykh pegmatitov Kolmozerskogo litievogo mestorozhdeniya (Kol'skij poluostrov) [Spodumene from rare-metal pegmatites of the Kolmozerskoe lithium deposit (Kola Peninsula)]. *Zapiski Rossijskogo mineralogicheskogo obshchestva* [Notes of the Russian Mineralogical Society], 2019, vol. 148, No 1, pp. 65–78. doi:10.30695/zrmo/2019.1481.06. (In Russ.).
10. Morozova L. N. Kolmozerskoe litieoe mestorozhdenie redkometall'nykh pegmatitov: novye dannye po redkoelementnomu sostavu (Kol'skij poluostrov) [Kolmozero lithium deposit of rare-metal pegmatites: new data on rare-element composition (Kola Peninsula)]. *Litosfera* [Lithosphere], 2018, vol. 18, No 1, pp. 82–98. doi:10.24930/1681-9004-2018-18-1-082-098. (In Russ.).
11. Morozova L. N., Sokolova E. N., Smirnov S. Z., Balagansky V. V., Bazai A. V. Spodumene from rare-metal pegmatites of the Kolmozero lithium world-class deposit on the Fennoscandian shield: trace elements and crystal-rich fluid inclusions. *Mineralogical Magazine*, 2021, vol. 85, pp. 149–160. doi:10.1180/mgm.2020.104
12. Pripachkin P. V., Kudryashov N. M., Rundkvist T. V., Morozova L. N. Lithium in pegmatites of the Fennoscandian Shield and operation prospects for the Kolmozero deposit on the Kola Peninsula (Russia). *Applied Earth Science*, 2022, 131, 4, pp. 179–192. doi:10.1080/25726838.2022.2089966

Информация об авторах

И. Г. Тананаев — член-корреспондент РАН, доктор химических наук, заместитель генерального директора ФИЦ КНЦ РАН по научной работе;

С. В. Кривовичев — академик РАН, доктор геолого-минералогических наук, генеральный директор ФИЦ КНЦ РАН;

С. В. Мудрук — кандидат геолого-минералогических наук, заместитель директора ГИ КНЦ РАН по научной работе;

А. В. Дуб — доктор технических наук, профессор, первый заместитель генерального директора АО «Наука и инновации»;

А. С. Вернигора — советник АО «Наука и инновации».

Information about the authors

I. G. Tananaev — Dr. Sc. (Chemistry), Deputy CEO FRC KSC RAS;

S. V. Krivovichev — Dr. Sc. (Geology), CEO FRC KSC RAS;

S. V. Mudruk — PhD (Geology), Deputy Director GI KSC RAS;

A.V. Dub — Dr. Sc. (Engineering), First Deputy CEO SC Science and Innovations;

A.S. Vernigora — Advisor SC Science and Innovations.

Статья поступила в редакцию 07.02.2022; одобрена после рецензирования 13.02.2023; принята к публикации 14.02.2023.
The article was submitted 07.02.2022; approved after reviewing 13.02.2023; accepted for publication 14.02.2023.

© Тананаев И. Г., Кривовичев С. В., Мудрук С. В., Дуб А. В., Вернигора А. С., 2023