**Труды Карельского научного центра РАН. 2026. № 10. С. 5–23**
**Transactions of the Karelian Research Centre RAS. 2026. No. 10. P. 5–23**
**DOI: 10.17076/geo2229**



*УДК 553.493.34+553.493(470.22)*

# РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЛИТИЯ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ

## В. И. Иващенко

*Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»*
*(ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910)*

Проведен краткий обзор и анализ минерально-сырьевой базы лития и редкоземельных металлов (РЗМ) мира и России. Россия занимает лидирующие позиции в мире по запасам и ресурсам РЗМ, но не обладает современным технологическим производством для получения и разделения этих металлов в чистом виде. В меньшей степени она обеспечена запасами лития, но имеет реальные перспективы для существенного наращивания его минерально-сырьевой базы. Показаны основные промышленные типы месторождений этих высокотехнологичных металлов и их исключительно важное значение в мировой и российской экономике. Охарактеризованы области использования лития и РЗМ, их незаменимость во многих отраслях промышленности, включая автомобилестроение, компьютерные, космические и медицинские технологии, оборонно-промышленный комплекс и бытовую технику. Приведены результаты металлогенических исследований на эти металлы территории Республики Карелия, где известны несколько перспективных проявлений лития, связанных с редкометалльными LCT-пегматитами со сподуменом и лепидолитом (Иокирантское, Хаутаваарское и Северо-Карельское поля пегматитов) и многочисленные пункты минерализации РЗМ, не относящиеся к основным мировым промышленным типам оруденения этих металлов. Сделаны выводы о промышленных перспективах Карелии на литий (LCT-пегматиты, Li-F граниты, сопутствующий тайниолит на U-Au-Pt-V месторождениях) и крайне низкой вероятности нахождения на ее территории перспективных проявлений РЗМ.

Ключевые слова: литий; редкоземельные металлы; LCT пегматиты; лепидолит; сподумен; тайниолит, Li-F граниты, Республика Карелия

Для цитирования: Иващенко В. И. Ресурсный потенциал лития и редкоземельных металлов Республики Карелия // Труды Карельского научного центра РАН. 2026. № 10. С. 5–23. doi: 10.17076/geo2229

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт геологии КарНЦ РАН).

**V. I. Ivashchenko. LITHIUM AND RARE-EARTH METAL RESOURCE POTENTIAL IN THE REPUBLIC OF KARELIA**

*Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia)*

This article provides a brief overview and analysis of the global and Russian lithium and rare earth metal (REE) mineral resource base. Russia holds global leadership in REE reserves and resources, but lacks modern technological production facilities for extracting and separating these metals in pure form. While known lithium reserves are lower, the country can realistically enlarge its mineral resource base. The article presents the main industrial types of deposits of these high-tech metals and demonstrates their critical importance to the global and Russian economies. It also describes the uses of lithium and REE and their indispensability in many industries, including automotive, computer, space, and medical technologies, the defense industry, and household appliances. The article reports the results of metallogenic studies of these metals in the Republic of Karelia, where several promising lithium occurrences associated with rare-metal LCT pegmatites with spodumene and lepidolite (the Iokiranta, Hautavaara, and North Karelian pegmatite fields) are known, as well as numerous REE mineralization sites beyond the main global industrial types of these metals. Conclusions are drawn regarding Karelia's industrial potential for lithium (LCT pegmatites, Li-F granites, and taeniolite associated with U-Au-Pt-V deposits) and the extremely low probability of finding promising REE occurrences within its territory.

Keywords: lithium; rare earth metal; LCT pegmatites; lepidolite; spodumene; taeniolite; Li-F granites; Republic of Karelia

For citation: Ivashchenko V. I. Lithium and rare-earth metal resource potential in the Republic of Karelia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2026. No. 10. P. 5–23. doi: 10.17076/geo2229

Funding. The study was funded from the Russian federal budget through state assignment to KarRC RAS (Institute of Geology KarRC RAS).

## Введение

Термин *«редкие металлы»* не имеет канонического определения, а основывается большей частью на исторических и экономических предпосылках – с конца XVIII века считалось, что эти металлы не образуют крупных месторождений и высоких содержаний в руде. К настоящему времени для многих из них это оказалось несоответствующим действительности. В России в число редких металлов включается 40–44 химических элемента [Дробот, Буслаева, 2001; Твердохлебова, Усова, 2011 и др.], которые принято делить на пять групп: *легкие* (Li, Be, Rb, Cs); *рассеянные* (Ga, In, Sc, Ge, Cd, Se, Bi, Te); *редкоземельные* (Y, La и все лантаноиды); *тугоплавкие* (Zr, Hf, V, Nb, Ta, Re); *радиоактивные* (Fr, Ra, Ac, Po, Tc, Th, Pa, U и все трансурановые элементы). В США большинство из вышеперечисленных элементов рассматриваются как группа редкоземельных металлов или редкоземов.

Прогрессивное развитие современной промышленности невозможно без редких металлов. Материалы, получаемые на базе редких металлов, в силу своих уникальных свойств и влияния на прогресс науки и техники получили за рубежом название «advanced materials» (улучшенные или продвинутые материалы). По уровню потребления большинства редких металлов, особенно редкоземельных, Россия отстает от США более чем на порядок [Быховский, 2014]. В последние годы среди редких металлов в силу разных причин, в том числе и геополитических, особое промышленное и научное значение приобрели Li и редкоземельные металлы (РЗМ).

**Литий.** Содержание Li в континентальной коре составляет 21 г/т [McLennan, 2001]. В России Li относится к стратегическим и дефицитным (критическим) металлам. К настоящему времени известно 114–118 минералов Li [Grew et al., 2019], из которых промышленное значение имеют только сподумен, петалит, лепидолит, амблигонит, гекторит и ядарит. К основным промышленным типам месторождений лития относятся гидроминеральный, представленный рапой соляных озер, и редкометалльные LCT (литий, цезий, тантал) пегматиты со сподуменом. Кроме этого, промышленно перспективными источниками лития могут быть Li-F граниты, гекторитовые глины (кальдерный тип), метаморфизованные вулканогенно-осадочные породы и нефтепромысловые и геотермальные рассолы (рис. 1).

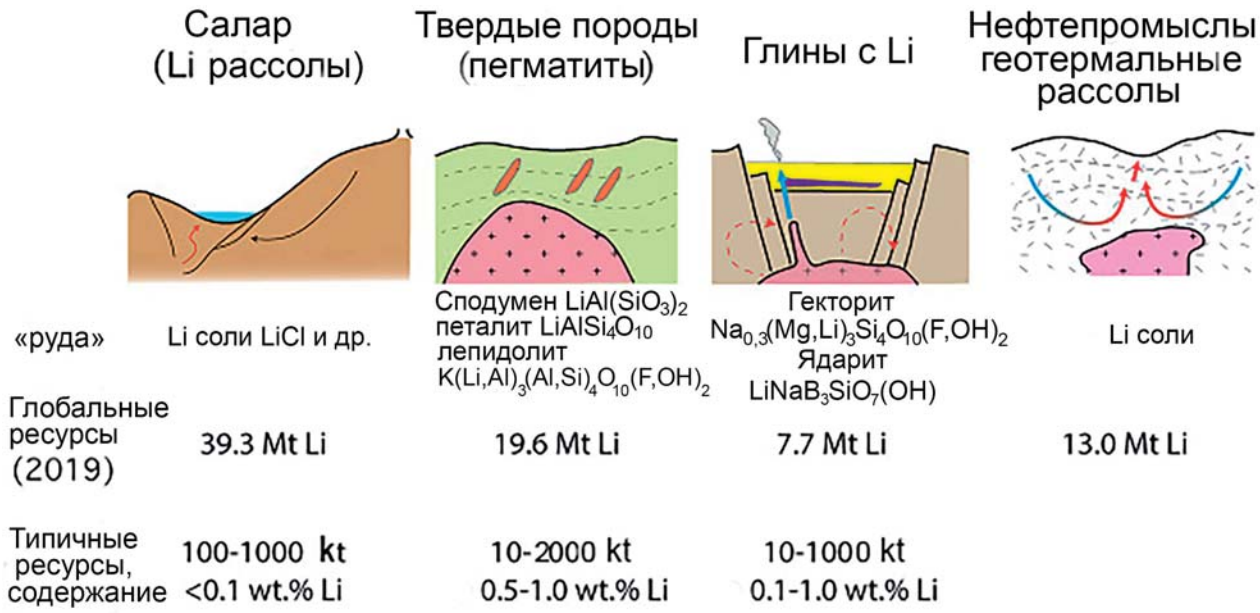



*Рис. 1.* Характеристика основных промышленных типов месторождений лития и оценка мировых ресурсов по типам на 2019 год [Technical..., 2018; Greenbushes..., 2022; Gardiner et al., 2024; Putzolu et al., 2025]

*Fig. 1.* Outline of the main industrial Li deposit types and estimated global resources by type in 2019 [Technical..., 2018; Greenbushes..., 2022; Gardiner et al., 2024; Putzolu et al., 2025]

На пегматиты приходится около 75% мировых запасов лития и более 60% его добычи, а остальное в основном на салары – рапу соляных озер [Государственный..., 2024].

Содержание $Li_2O$ 0,7–1,0% в сподуменовых рудах обычно также с экономически значимыми количествами Be, Ta, Cs, W, Sn считается промышленным. Для гидроминеральных месторождений промышленное содержание $Li_2O$ может сильно варьировать в зависимости от множества факторов и рассчитывается для каждого конкретного месторождения.

Мировые ресурсы $Li_2O$ оцениваются в 228,5 млн т, основная часть которых находится на территории Боливии, Аргентины, США и Чили (табл. 1). Разведанные запасы лития сосредоточены в 18 странах и составляют около 17 млн т: в Австралии – 28%, Аргентине – 16%, Китае – 11%, Чили – 6%, России – 3% [Государственный..., 2024].

*Таблица 1.* Минеральные ресурсы лития и его производство в мире [Государственный..., 2024]

*Table 1*. Lithium mineral resources and its production in the world [State..., 2024]

| Страна<br>Country | Минеральные ресурсы*, категория<br>Mineral resources*, category | Минеральные ресурсы, тыс. т $Li_2O$ (тыс. т Li)<br>Mineral resources kt $Li_2O$ (kt Li) | Доля в мировых ресурсах, % (место в мире)<br>Share of global resources, % (rank in the world) | Производство в 2023 г., тыс. т $Li_2O$ (LCE**)<br>Production in 2023, kt Li2O (LCE**) | Доля в мировом производстве в 2023 г., % (место в мире)<br>Share of global production in 2023, % (rank in the world) |
|---|---|---|---|---|---|
| Австралия<br>Australia | Измеренные, Выявленные, Предполагаемые<br>Measured, Identified, Estimated | 19282<br>(8956[1]) | 8,4 (5) | 184[1]<br>(455) | 44 (1) |
| Чили<br>Chile | Минеральные ресурсы<br>Mineral resources | 23672<br>(11000[5]) | 10,4 (4) | 103,3[3]<br>(255,5) | 24,7 (2) |
| Китай<br>China | Минеральные ресурсы<br>Mineral resources | 10779<br>(5009[4]) | 4,7 (6) | 71[5]<br>(175,6) | 17 (3) |
| Аргентина<br>Argentina | Минеральные ресурсы<br>Mineral resources | 47344<br>(22000[5]) | 20,7 (2) | 20,7[5]<br>51,1 | 5 (4) |
| Канада<br>Canada | Измеренные, Выявленные<br>Measured, Identified | 6456<br>(3000[5]) | 2,8 (7) | 10,7[2]<br>(26,4) | 2,6 (5) |

*Окончание табл. 1*
*Table 1 (continued)*

| Страна<br>Country | Минеральные ресурсы*, категория<br>Mineral resources*, category | Минеральные ресурсы, тыс. т $Li_2O$ (тыс. т Li)<br>Mineral resources kt $Li_2O$ (kt Li) | Доля в мировых ресурсах, % (место в мире)<br>Share of global resources, % (rank in the world) | Производство в 2023 г., тыс. т $Li_2O$ (LCE**)<br>Production in 2023, kt Li2O (LCE**) | Доля в мировом производстве в 2023 г., % (место в мире)<br>Share of global production in 2023, % (rank in the world) |
|---|---|---|---|---|---|
| Бразилия<br>Brazil | Минеральные ресурсы<br>Mineral resources | 1722<br>(800[5]) | 0,8 (9) | 10,5[5]<br>(26,1) | 2,5 (6) |
| Зимбабве<br>Zimbabwe | Минеральные ресурсы<br>Mineral resources | 1784<br>(829[2]) | 0,8 (9) | 7,3[5]<br>(18,1) | 1,8 (7) |
| США<br>USA | Измеренные, Выявленные<br>Measured, Identified | 30128<br>(14000[5]) | 13,2 (3) | 5,6[8]<br>(13,8) | 1,3 (8) |
| Боливия<br>Bolivia | Минеральные ресурсы<br>Mineral resources | 49496<br>(23000[5]) | 21,6 (1) | 1,3[7]<br>(3,2) | 0,3 (9) |
| Португалия<br>Portugal | Минеральные ресурсы<br>Mineral resources | 596<br>(277[2]) | 0,3 (10) | 0,9[5]<br>(2,1) | 0,2 (10) |
| Россия<br>Russia | Балансовые запасы кат. $A+B+C_1+C_2$<br>Balance reserves cat. $A+B+C_1+C_2$ | 3492,1[6]<br>(1623,8) | 1,5 (8) | – | – |
| Прочие<br>Other | Минеральные ресурсы<br>Mineral resources | 33702<br>(15661[2]) | 14,8 | 2,6[2]<br>(6,4) | 0,6 |
| Мир<br>World | Минеральные ресурсы<br>Mineral resources | 228453<br>(106156) | 100 | 417,9<br>(1033,3) | 100 |

*Примечание.* * – сопоставимы с термином «балансовые запасы» по классификации РФ; ** – LCE – Lithium Carbonate Equivalent – эквивалент карбоната лития – часто используемая единица измерения содержание лития в минеральном сырье и продуктах его переработки. В 1 т LCE заключено 188 кг Li или 404 кг $Li_2O$; Источники: 1 – Australian Government, 2 – экспертная оценка ФГБУ «ВИМС» по данным геологоразведочных и добывающих компаний, 3 – Servicio Nacional de Geologia y Mineria (Чили), 4 – National Bureau of Statistics of China, 5 – U. S. Geological Survey, 6 – пересчет по данным ГБЗ РФ, 7 – Yacimientos de Litio Bolivianos (Боливия), 8 – Albemarle Corp.

*Note.* * – comparable with the term "balance reserves" according to the classification of the Russian Federation; ** – LCE – Lithium Carbonate Equivalent – a frequently used unit of measurement of lithium content in mineral raw materials and their processed products. 1 ton of LCE contains 188 kg of Li or 404 kg of $Li_2O$; Sources: 1 – Australian Government, 2 – expert assessment of FSBI N. M. Fedorovsky All-Russian Research Institute of Mineral Raw Materials (VIMS) based on data from geological exploration and mining companies, 3 – Servicio Nacional de Geologia y Mineria (Chile), 4 – National Bureau of Statistics of China, 5 – U. S. Geological Survey, 6 – recalculation based on data from the State Reserves of the Russian Federation, 7 – Yacimientos de Litio Bolivianos (Bolivia), 8 – Albemarle Corp.

Около 75% балансовых запасов Li в России приходится на редкометалльные (LCT) пегматиты со сподуменом, ~20% связаны со слюдами в редкометалльных гранитных месторождениях. Из них запасы $Li_2O$ категорий ($A + B + C_1 + C_2$) составляют 3,5 млн т и большая их часть (80%), представленная комплексными (Be, Ta, Nb, Cs) рудами, сосредоточена в Сибирском, Северо-Западном и Дальневосточном федеральных округах. 68,8% балансовых запасов лития России заключены в семи месторождениях редкометалльных пегматитов со сподуменом: Колмозерское (24,18%; Мурманская обл.), Гольцовое (13,42%; Иркутская обл.), Урикское (10,53%; Республика Бурятия), Полмостундровское (10,07%; Мурманская обл.), Завитинское (5,9%; Забайкальский край), Белореченское (4,7%; Иркутская обл.), Тастыгинское (0% балансовых, 596,3 тыс. т забалансовые; Республика Тыва) [Государственный…, 2024; Литий…, 2025].

Мировое производство лития и цена на литиевый концентрат в период с 2015 по 2022 гг. резко возросли (рис. 2) на фоне растущего экономического значения «твердых» источников лития – в основном пегматитовых (Гринбушес в Австралии и др.). После 2022 года резко возросло число проектов по добыче лития из рассолов, а также исследований по разработке Na-ионных технологий для производства аккумуляторов [Домов, 2025].

По данным геологической службы США мировое производство лития в связи с расширением областей его использования и изменением структуры потребления (рис. 3) в последние десятилетия характеризуется высокими темпами роста – до 12–18% в год [Цивадзе и др., 2023]. Литий и его соединения находят также все более широкое применение в военной и космической промышленности, а также в термоядерной энергетике.

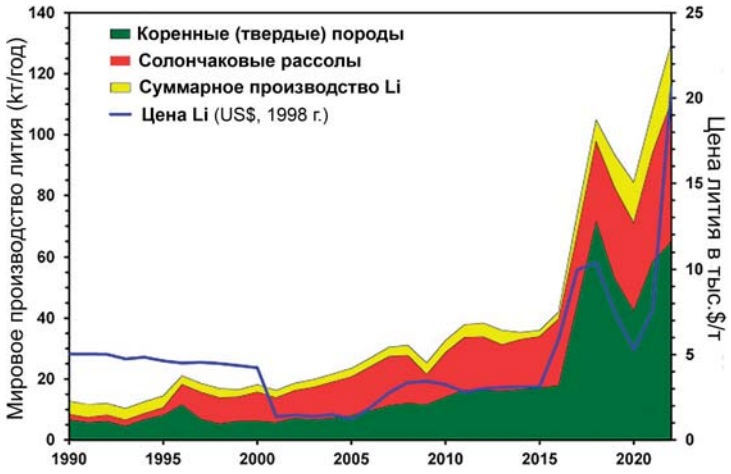



*Рис. 2.* Производство лития в период с 1990 по 2022 год по типам месторождений и цена на литиевый концентрат [Mudd, 2021; Gardiner et al., 2024]

*Fig. 2.* Lithium production from 1990 to 2022 by deposit type, and Li concentrate price [Mudd, 2021; Gardiner et al., 2024]

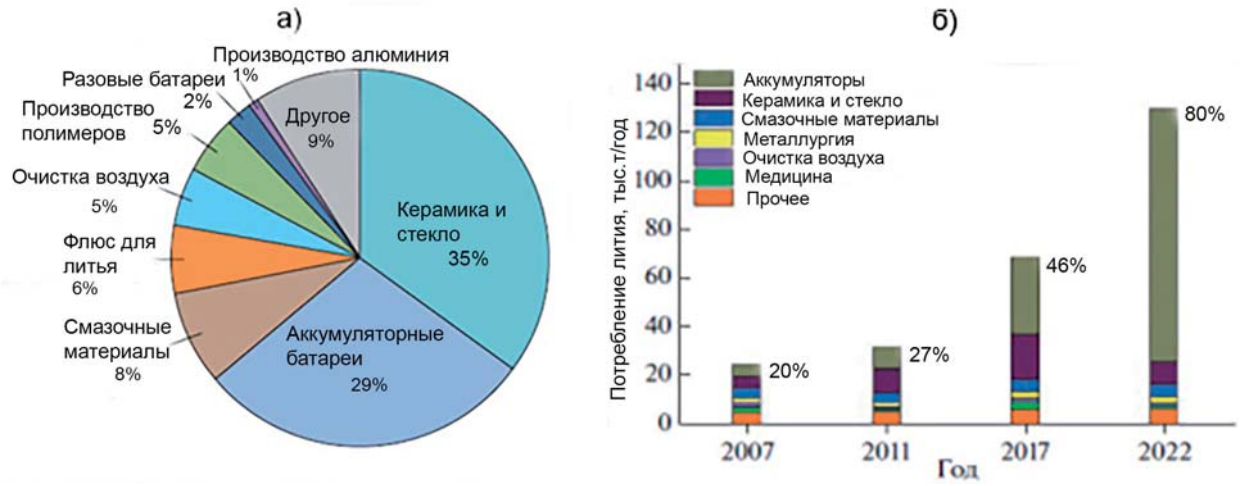



*Рис. 3.* Изменение структуры мирового потребления лития с 2013–2022 гг.;
а – по [Bradley et al., 2017]; б – по [Цивадзе и др., 2023]

*Fig. 3.* Changes in the structure of global lithium consumption from 2013 to 2022:
а – according to [Bradley et al., 2017]; б – according to [Tsivadze et al., 2023]

Литий-ионные аккумуляторы в настоящее время являются оптимальным решением по хранению энергии, сочетая высокую емкость, небольшой вес и высокую скорость заряда. Объем мирового рынка литий-ионных аккумуляторов, по состоянию на 2022 год оценивается в $44 млрд. Прогноз на 2028 год – $193 млрд при среднегодовом темпе роста рынка в 23,3 % [Литий-ионные..., 2022]. В России производство литий-ионных аккумуляторов по объемам потребления лития занимает третье место, уступая производству стекла и керамики (34 %), а также смазочных материалов (24 %).

По оценкам International Energy Agency [Государственный..., 2024; с. 443] в 2023 году мировое потребление лития составило 165 тыс. т Li (879 тыс. т LCE), увеличившись относительно 2022 года на 30 %. По прогнозам агентства, к 2030 году оно увеличится более чем в три раза – до 531 тыс. т Li (2827 тыс. т LCE), а к 2040 году – до 1326 тыс. т Li (7060 тыс. т LCE, + 703 % к 2023 году). Резкое колебание цен на литий в последние годы (2022–2024 гг.) от 84000 до 14000 $USA/т) [Обзор..., 2024] является, вероятно, временным и обусловленным, главным образом, геополитическими (военные конфликты, изменение стратегического контроля над поставками) и экономическими (перенасыщение рынка за счет ввода в эксплуатацию многочисленных новых месторождений, снижение роста продаж электромобилей) факторами.

**РЗМ.** К редкоземельным металлам относятся 15 лантаноидов и иттрий, а в некоторых странах и скандий. Они разделяются на две группы: легких РЗМ (LREE), включающую элементы от лантана до самария,

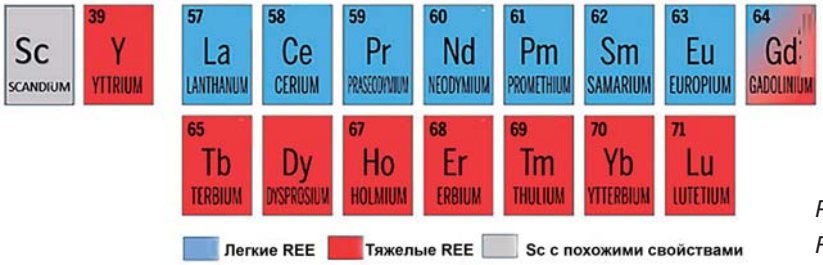



*Рис. 4.* Разделение РЗМ на две группы
*Fig. 4.* Division of REE into two groups

и тяжелых РЗМ (HREE) – от европия до лютеция и иттрий (рис. 4). Иногда вводится промежуточная группа средних РЗМ – от самария до гольмия. Группу LREE принято называть цериевой, группу HREE – иттриевой.

Содержание РЗМ в земной коре сильно варьирует: от 0,003 % для лантана до 0,00008 % для туллия и лютеция [McLennan, 2001]. Тысячи минералов в природе содержат РЗМ. При этом в обогащенных ими минералах отдельные редкоземельные элементы всегда сопутствуют друг другу, ввиду схожести химических свойств их раздельное получение представляется весьма сложным и затруднительным. Основными источниками промышленного получения РЗМ являются бастнезитовые карбонатиты, прибрежно-морские и погребенные россыпи (монацит), глинистые минералы кор выветривания (ионно-абсорбционные руды).

Мировые ресурсы РЗМ оцениваются в 378,4 млн т (табл. 2). Самые значительные балансовые запасы редкоземельных металлов в мире, по оценке Геологической службы США, сосредоточены, млн т: в Китае – 44;

*Таблица 2.* Минеральные ресурсы РЗМ и их товарная добыча в мире [Государственный..., 2024]
*Table 2*. Mineral resources of rare earth metals and their commercial production in the world [State..., 2024]

| Страна<br>Country | Минеральные ресурсы, категория<br>Mineral resources*, category | Минеральные ресурсы, млн т $\Sigma TR_2O_3$<br>Mineral resources Mt $\Sigma TR_2O_3$ | Доля в мировых минеральных ресурсах, % (место в мире)<br>Share of global resources, % (rank in the world) | Товарная добыча в 2023 г., тыс. т $\Sigma TR_2O_3$<br>Commercial production in 2023, kt $\Sigma TR_2O_3$ | Доля в мировой добыче, % (место в мире)<br>Share of global production,% (rank in the world) |
|---|---|---|---|---|---|
| Китай<br>China | Минеральные ресурсы<br>Mineral resources | 164[1] | 43,3 (1) | 255[2*] | 70,8 (1) |
| США<br>USA | Минеральные ресурсы<br>Mineral resources | 14[1] | 3,7 (7) | 43[2] | 11,9 (2) |
| Мьянма<br>Myanmar | Минеральные ресурсы<br>Mineral resources | н/д<br>n/a | н/д<br>n/a | 38[2] | 10,6 (3) |
| Австралия<br>Australia | Измеренные, Выявленные, Предполагаемые<br>Measured, Identified, Estimated | 28,8[3] | 7,6 (3) | 16,8[2] | 4,7 (4) |
| Индия<br>India | Резервы**<br>Reserves** | 6,9[2] | 1,8 (9) | 2,9[2] | 0,8 (5) |
| Россия<br>Russia | Балансовые запасы кат. $A+B+C_1+C_2$<br>Balance reserves cat. $A+B+C_1+C_2$ | 28,5[4] | 7,5 (4) | 2,6[4] | 0,7 (6) |
| Вьетнам<br>Vietnam | Минеральные ресурсы<br>Mineral resources | 71,2[5] | 18,8 (2) | 0,6[2] | 0,2 (8) |
| Прочие<br>Other | Минеральные ресурсы<br>Mineral resources | 65[6] | 17,2 | 1,1[2] | 0,3 |
| Мир<br>World | Минеральные ресурсы<br>Mineral resources | 378,4 | 100255 | 360 | 100 |

*Примечание.* н/д – данные не доступны; * – производственная квота; ** – данные о минеральных ресурсах не доступны. Источники: 1 – Global Potential of Rare Earth Resources and Rare Earth Demand from Clean Technologies, 2 – U.S. Geological Survey, 3 – Australian Government, 4 – ГБЗ РФ, 5 – Ministry of Natural Resources and Environment (Vietnam), 6 – экспертная оценка ФГБУ «ВИМС».

*Note.* n/a – data is not available; * – production quota; ** – mineral resource data is not available. Sources: 1 – Global Potential of Rare Earth Resources and Rare Earth Demand from Clean Technologies, 2 – U.S. Geological Survey, 3 – Australian Government, 4 – State Reserves Committee of the Russian Federation, 5 – Ministry of Natural Resources and Environment (Vietnam), 6 – expert assessment of FSBI N. M. Fedorovsky All-Russian Research Institute of Mineral Raw Materials (VIMS).

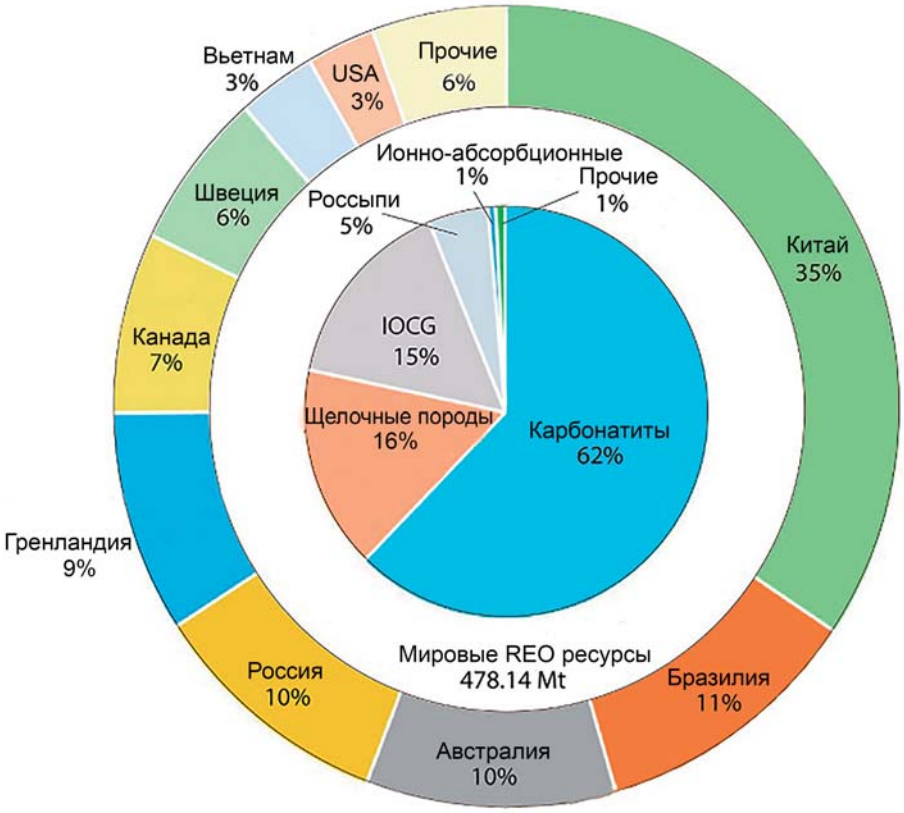



*Рис. 5.* Распределение мировых ресурсов РЗМ по типам месторождений и странам, по данным: [Batapola et al., 2020]

*Fig. 5.* Distribution of world REE resources by deposit types and countries, according to [Batapola et al., 2020]

Бразилии – 22; Индии – 6,9; Австралии – 5,7; Вьетнаме – 3,5. Наибольшая часть мировых извлекаемых запасов РЗМ сосредоточена в бастнезитовых месторождениях КНР. Крупные запасы связаны также с месторождениями монацита в Австралии, Бразилии, КНР, Индии, Малайзии, ЮАР, Шри Ланке, Тайланде и США. Остальные запасы связаны с месторождениями ксенотима, ионно-абсорбционных руд, лопарита, фосфоритов, апатита, эвдиалита, чералита и с жидкими отходами при добыче урана (рис. 5)

По данным федерального агентства по недропользованию «Роснедра» [Редкоземельные..., 2025а, б] на 1 января 2023 года балансовые запасы РЗМ в России составляют 28,7 млн т (18 месторождений), забалансовые – 11,6 млн т (2 месторождения). По этому показателю Россия занимает второе место в мире после Китая. Большинство российских месторождений, как и мировых – комплексные, в которых РЗМ являются преимущественно попутными (рис. 6). Исключение – лопаритовые руды Ловозерского месторождения на Кольском п-ове.

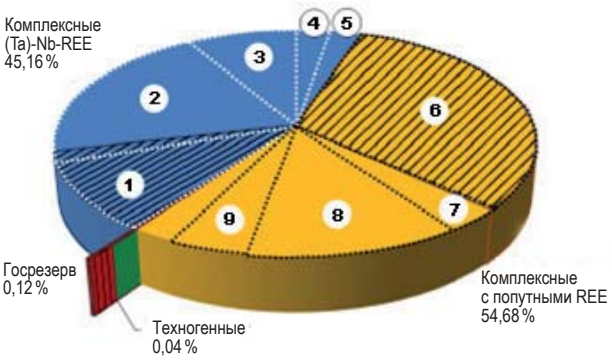



*Рис. 6.* Структура запасов (∑ кат. $A+B+C_1+C_2$) сырьевых источников REE России [Быховский и др., 2020]:

Заштрихованные сегменты – запасы в распределенном фонде недр. 1 – Томтор, уч. Буранный; 2 – Ловозеро; 3 – Чуктукон; 4 – Томтор, уч. Северный и Южный; 5 – Катугинское; 6 – апатит Хибин; 7 – Ярега; 8 – Селигдар; 9 – Белозиминское

*Fig. 6.* Structure of reserves (∑ cat. $A+B+C_1+C_2$) of raw material sources of REE in Russia [Bykhovsky et al., 2020]:

The shaded segments are reserves in the distributed subsoil fund. 1 – Tomtor, Burannyi site; 2 – Lovozero; 3 – Chuktukon; 4 – Tomtor, North and South sites; 5 – Katuginskoe; 6 – Khibiny apatite; 7 – Yarega; 8 – Seligdar; 9 – Beloziminskoe

За последние 20 лет мировая добыча РЗМ выросла в четыре раза и составляет 360 тыс. т в 2023 году [Государственный..., 2024], а соответствующие масштабы их запасов более чем в 100 раз превышают текущую годовую добычу.

В России товарная добыча РЗМ ведется только на одном месторождении – Ловозерском в Мурманской обл. и составила в 2023 году 2,6 тыс. т (см. табл. 2). До 1990 года СССР занимал второе место в мире по производству редких земель – 8,5 тыс. т/год при потреблении 6 тыс. т, остаток направлялся на экспорт [Быховский и др., 2020].

РЗМ используются в радиоэлектронике, приборостроении, атомной технике, машиностроении, химической промышленности, металлургии, в производстве аккумуляторных батарей, магнитов электродвигателей, оптического стекла, керамики и др. (табл. 3).

*Таблица 3.* Основные области применения РЗМ, по: [Bru et al., 2015; Sebastiaan et al., 2017]
*Table 3*. Main areas of application of REE according to [Bru et al., 2015; Sebastiaan et al., 2017]

| Элемент<br>Element | Использование<br>Use |
|---|---|
| Y | Люминофоры, керамика, металлургические сплавы, лазеры, катализ<br>Luminophors, ceramics, metallurgical alloys, lasers, catalysis |
| La | Катализ крекинга тяжелой нефти, аккумуляторы, металлургические сплавы, оптика, люминофоры, мишметалл<br>Heavy oil cracking catalysis, batteries, metallurgical alloys, optics, luminophors, mischmetal |
| Ce | Полировка стекла, металлургические сплавы, автомобильный катализ, оптика, люминофоры, мишметалл<br>Glass polishing, metallurgical alloys, automotive catalysis, optics, luminophors, mischmetal |
| Pr | Постоянные магниты, люминофоры, керамика, мишметалл, металлургические сплавы, катализаторы окисления<br>Permanent magnets, phosphors, ceramics, mischmetal, metallurgical alloys, oxidation catalysts |
| Nd | Постоянные магниты, керамика, металлургические сплавы, мишметалл, люминофоры, лазеры<br>Permanent magnets, ceramics, metallurgical alloys, mischmetal, luminophors, lasers |
| Pm | Радиоизотопные источники питания, приборостроение (толщинометры), радиолюминесцентные материалы<br>Radioisotope power sources, instrumentation (thickness gauges), photoluminescent materials |
| Sm | Постоянные магниты, оптика, медицина, ядерные технологии<br>Permanent magnets, optics, medicine, nuclear technology |
| Eu | Люминофоры, оптика, ядерные технологии<br>Luminophors optics, nuclear technologies |
| Gd | Постоянные магниты, металлургические сплавы, люминофоры, медицинская визуализация, лазеры<br>Permanent magnets, metallurgical alloys, luminophors, medical imaging, lasers |
| Tb | Люминофоры, постоянные магниты, металлургические сплавы, легирование электронных компонентов<br>Luminophors, permanent magnets, metallurgical alloys, doping of electronic components |
| Dy | Постоянные магниты, металлургические сплавы, оптика, ядерные технологии<br>Permanent magnets, metallurgical alloys, optics, nuclear technologies |
| Ho | Окрашивание стекла, легирование лазерных кристаллов<br>Glass coloring, laser crystal doping |
| Er | Окрашивание стекла, люминофоры, оптические телекоммуникации, медицинские лазеры<br>Glass coloring, luminophors, optical telecommunications, medical lasers |
| Tm | Легирование лазерных волокон и некоторых люминофоров<br>Doping of laser fibers and some luminophors |
| Yb | Составная часть лазерных кристаллов, сейсмические измерения, металлургия<br>Component of laser crystals, seismic measurements, metallurgy |
| Lu | Медицинская томография, керамика, металлургические сплавы, лазеры, катализ<br>Medical tomography, ceramics, metallurgical alloys, lasers, catalysis |

По востребованности промышленностью РЗМ подразделяются на три группы: дефицитные и потенциально дефицитные – Nd, Tb, Dy, Y, Eu, Er; недефицитные – La, Pr, Sm, Gd; избыточные – Ce, Ho, Tm, Yb, Lu [Середин, 2010]. К настоящему времени такое подразделение РЗМ по промышленной значимости в целом сохраняется, сопровождаясь неуклонным возрастанием потребления «магнитных» и тяжелых РЗМ.

По объему потребления в промышленности лидирует неодим. Широким спросом также пользуются тяжелые РЗМ – тербий, диспрозий и легкие – празеодим, европий. Диспрозий применяется в производстве оборонных систем, в том числе систем наведения и управления ракетами, радаров и беспилотных систем. В сфере ОПК иттрий необходим для лазерных технологий и бронекерамики. В мире наиболее востребованы «магнитные» металлы: Nd, Pr, Dy, Eu, Tb. По оценкам агентства *Adamas Intelligence* [Государственный..., 2024], в 2023 году мировое потребление постоянных магнитов, для производства которых применяются в основном Nd и Pr, выросло на 13,3 % и будет расти в пределах 8–10 % в год.

По оценкам консалтинговой компании Mordor Intelligence [Государственный..., 2024; с. 494], рынок РЗМ в 2023 году составил 175 тыс. т. Прогнозируется, что в 2024 году он увеличится до 182,4 тыс. т, а в 2029 году достигнет 214,9 тыс. т (среднегодовые темпы роста – 4,19 %). Однако реальные данные производства РЗМ значительно отличаются от прогнозируемых – в 2024 году 390 тыс. т Mineral..., 2024]. В настоящее время Китай контролирует 60–70 % мировой добычи и 90 % переработки редкоземельных руд, в том числе добываемых в США.

## Результаты исследований: литий и РЗМ Карелии

Геолого-поисковые работы и научные исследования по оценке металлогенических перспектив территории Карелии на редкие металлы, включая литий и РЗМ, проводились в основном в прошлом веке, соответственно, с применением недостаточно точных аналитических методов и носили преимущественно рекогносцировочный и прогнозный характер. Результаты этих работ систематизированы в монографиях [Хазов и др., 1993; Минерально-сырьевая..., 2005]. Позднее проводились преимущественно минералого-геохимические исследования некоторых редкометалльных проявлений, расположенных в южных и северных районах Карелии [Кулешевич и др., 2014; Кулешевич, 2016]. Впоследствии систематизация и ревизия всей имеющейся информации по редкометалльным проявлениям региона послужили основой для проведения их рудно-формационного анализа и определения металлогенического потенциала [Иващенко, 2016]. Всего на территории Карелии было выявлено около 50 редкометалльных рудных объектов, относящихся к 18 рудно-формационным типам (рис. 7), среди которых семь редкоземельных (15 рудных объектов), два комплексных с Li (14 рудных объектов). Большинство из них являются неперспективными, вследствие низких содержаний Li и РЗМ, не соответствующих понятию «проявления» [Российский..., 2003] и не относятся к основным мировым промышленным типам редкометалльного оруденения.

### *Литий Карелии*

На территории Карелии известно несколько перспективных проявлений лития, связанных с редкометалльными LCT-пегматитами со сподуменом и лепидолитом – основного промышленного типа оруденения этого широко востребованного в современном мире и крайне дефицитного в России металла. Это Иокирантское поле редкометалльных пегматитов [Иващенко, Лавров, 1993], лепидолитовые пегматиты в обрамлении Маткасельского, Кюренлампинского и Кааламского массивов в Ладожской структуре, пегматиты со сподуменом в Хаутоваарской структуре [Сафронова, Рыбаков, 1978] и две крупные пегматитовые жилы – Аськиярви и Визиполуостров [Солдатенко и др., 1999] на севере Карелии (см. рис. 7).

Редкометалльные лепидолитовые пегматиты северо-восточного обрамления Иокирантского гнейсогранитного купола [Иващенко, Лавров, 1993] локализованы в верхних частях разреза основных вулканитов сортавальской серии, метаморфизованных в амфиболитовой фации (рис. 8). Они имеют субсогласное и резко дискордантное соотношение с вмещающими вулканитами. Пегматиты характеризуются кварц-мусковит-микроклиновым составом, блоковой структурой и слабо выраженной зональностью с обособлением в осевой части жил зон с содержанием $Li_2O$ около 2 %, обогащенных альбитом (клевеландитом), спессартиновым гранатом (MnO до 19 %), эльбаитом, циннвальдитом, лепидолитом и уплощенными кристаллами танталит-колумбита размером до 1 см.

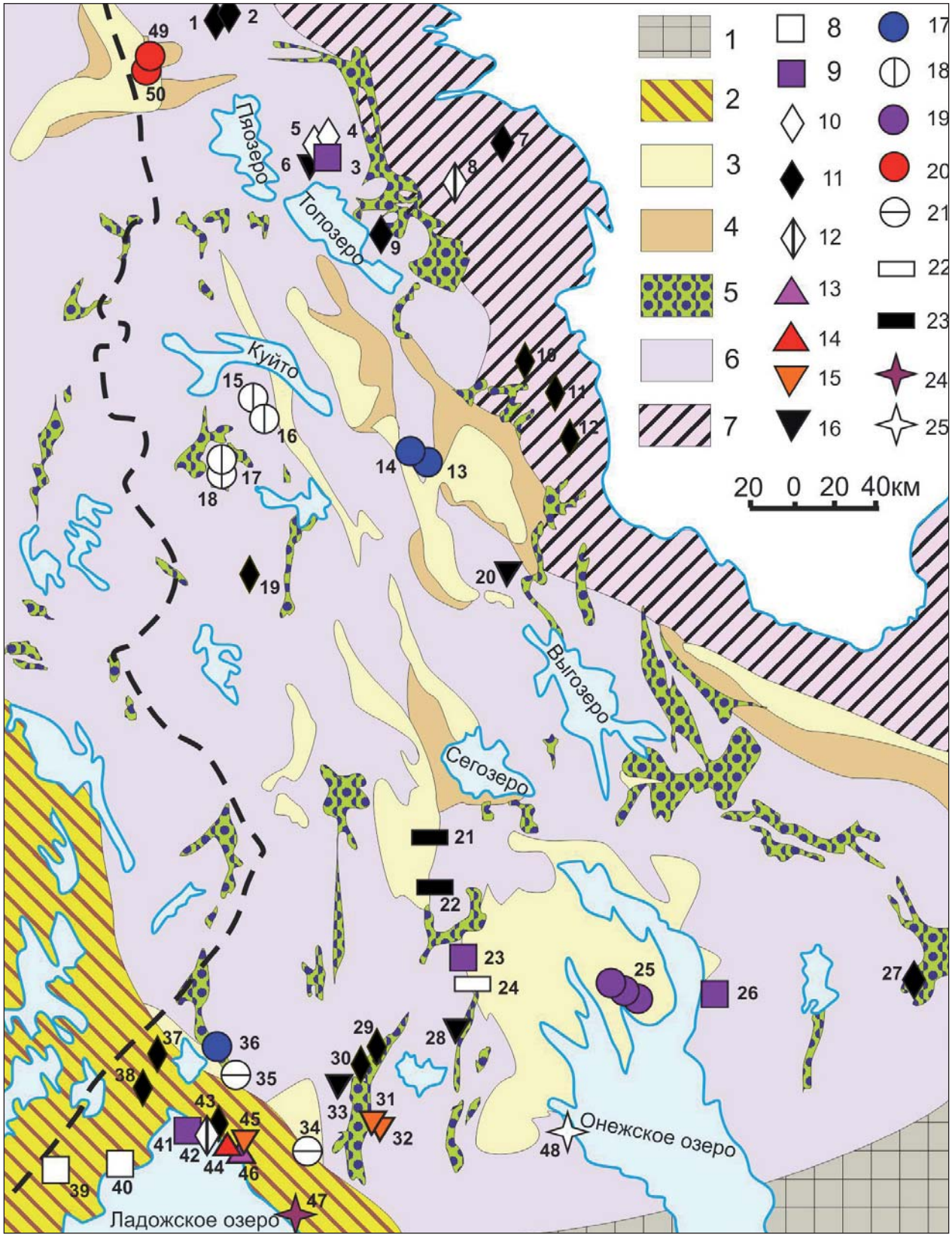

Пяозеро
Топозеро
Куйто
Выгозеро
Сегозеро
Онежское озеро
Ладожское озеро
20 0 20 40км

*Рис. 7.* Схема размещения редкометалльных рудных объектов на территории Карелии (с использованием данных Карельской геологической экспедиции) [Иващенко, 2016].

1 – платформенный чехол; 2 – Свекофеннский складчатый пояс; 3–6 – Карельская гранит-зеленокаменная область: 3 – ятулий, людиковий, калевий, вепсий нерасчлененные, 4 – сумий и сариолий нерасчлененные, 5 – лопий, 6 – комплекс архейского основания (TTG); 7 – Беломорский мобильный пояс. Рудно-формационные типы редкометалльного оруденения. 8, 9 – позднемагматические: 8 – редкоземельно (Ce, La)-фосфатный шошонитовый, 9 – ванадий-титан-железорудный (с Pd, Pt, Au) базитовый; 10–12 – пегматитовые: 10 – редкометалльный (Nb, Ta ± Zr, Ce, La) щелочногабброидный, 11 – редкометалльный (Li, Be, Ta, Nb) гранитогенный, 12 – редкоземельный (Ce, La, Y) гранитогенный; 13, 14 – апоскарново-грейзеновые (с гранитами рапакиви): 13 – бериллиевый, 14 – индий-полиметалльный; 15 – редкометалльно-гранитный (Ta, Nb, REE) (с гранитами рапакиви); 16 – альбититовый редкоземельный (Y); 17 – порфировый рений-медно-молибденовый с Au; 18–20 – субщелочные приразломные метасоматиты: 18 – редкоземельный (Ce, La, Y), 19 – уран-благороднометалльно-ванадиевый (с Li), 20 – золото-урановый (с Pd, Pt); 21 – черносланцевый молибден-благороднометалльно-ванадиевый; 22, 23 – конгломератовые: 22 – золото-редкоземельный (Y), 23 – золото-урановый; 24, 25 – эпигенетические инфильтрационные: 24 – урановый типа несогласий, 25 – уран-битумный (в кварцитопесчаниках). Цифры у значков – названия месторождений и проявлений. 1 – Визиполуостров; 2 – Аськиярви; 3 – Елетьозеро; 4 – Елетьозерское; 5 – Елетьозерское-1; 6 – Копанецкое; 7 – Плотнолambинское; 8 – Кинаж; 9 – Пиртима; 10 – Урам; 11 – Торловручей; 12 – Слюдяноборское; 13 – Лобаш; 14 – Пяяваара; 15 – Рукосалма; 16 – Длинное; 17 – Берег; 18 – Гора; 19 – Кайдоярви; 20 – Ю. Идельское; 21 – Маймъярви; 22 – Совдозерское; 23 – Койкарско-Святнаволокское; 24 – Черный Наволок; 25 – Падминская группа; 26 – Пудожгорское; 27 – оз. Долгое; 28 – Липчагское; 29–30 – Хаутоваарская структура: 29 – Вершинное; 30 – Случайное; 31–32 – Улялегский массив рапакиви: 31 – Мюзилампи; 32 – Камень Наволок; 33 – Магоярви; 34 – Ковадъярви; 35 – Леппясюрское; 36 – Ялонваара, 37 – Маткаселька; 38 – Туоксъярви (Иокирантское поле редкометалльных пегматитов); 39 – Элисенваара (Кайвомякский и Райвимякский шошонитовые массивы); 40 – Акионсалми; 41 – Вялимяки; 42 – Нуолайниеми; 43 – Линнаваара; 44 – Хопунваара; 45–46 – Салминский массив рапакиви: 45 – Хепаоя; 46 – Люпикко; 47 – Карку; 48 – Птицефабрика; 49 – Озерное; 50 – Лагерное

*Fig. 7.* Rare-metal ore objects in Karelia (with the use of the data from the Karelian Geological Expedition) [Ivashchenko, 2016].

1 – Platform cover; 2 – Svecofennian Fold Belt; 3–6 – Karelian Granite-Greenstone Region: 3 – Jatulian, Ludicovian, Kalevian, and Vepsian, unspecified; 4 – Sumian and Sariolian, unspecified; 5 – Lopian, 6 – complex of the Archean basement (TTG); 7 – Belomorian Mobile Belt. Types of rare-metal mineralization. 8, 9 – Late magmatic: 8 – rare-earth(Ce, La)-phosphate shoshonitic, 9 – vanadium-titanium-iron basic; 10–12 – pegmatitic: 10 – rare-metal (Nb, Ta ± Zr, Ce, La) alkaline gabbroic, 11 – rare-metal (Li, Be, Ta, Nb) granitogenic, 12 – rare-earth (Ce, La, Y) granitogenic; 13, 14 – post-skarn-greisen (with rapakivi granite): 13 – beryllium (with rapakivi granite), 14 – indium-polymetallic; 15 – rare-metal-granite (Ta, Nb, REE) (with rapakivi granite); 16 – rare-earth (Y) albitite; 17 – porphyry rhenium-copper-molybdenum with Au; 18–20 – subalkaline fault line metasomatic rocks: 18 – rare-earth (Ce, La, Y), 19 – uranium-noble metals-vanadium (with Li); 20 – gold-uranium (with Pd, Pt); 21 – molybdenum-noble metals-vanadium black shale; 22, 23 – conglomerate: 22 – gold–rare-earth (Y), 23 – gold-uranium; 24, 25 – epigenetic infiltration: 24 – uranium unconformity type, 25 – uranium-bitumen in quartzitic sandstone. Deposits and occurrences (numerals in figure): 1 – Vizipoluostrov; 2 – Aashiquijarvi; 3 – Eletozero; 4 – Eletozersky; 5 – Eletozersky-1; 6 – Kopanets; 7 – Plotnolambinsky; 8 – Kinazh; 9 – Pirtima; 10 – Uram; 11 – Torlovruchei; 12 – Slyudyanoborsky; 13 – Lobash; 14 – Päävaara; 15 – Ruokosalma; 16 – Dlinnoe; 17 – Bereg; 18 – Gora; 19 – Kaidojarvi; 20 – S. Idel; 21 – Maimjarvi; 22 – Sovdozero; 23 – Koykar–Svyatnavolok; 24 – Cherny Navolok; 25 – Padma group; 26 – Pudozhgorsky; 27 – Lake Dolgoe; 28 – Lipchag; 29–30 – Hautovaara structure: 29 – Vershinnoe; 30 – Sluchainoe; 31–32 – Ulyalegsky rapakivi massif: 31 – Muzilampi; 32 – Kamen Navolok; 33 – Magojarvi; 34 – Kovadjarvi; 35 – Leppäsurja; 36 – Jalonvaara; 37 – Matkaselka; 38 – Tuoksjarvi (Iokirant field of rare metal pegmatites); 39 – Eliseenvaara (Kaivomyaksky and Raivimyaksky shoshonite massifs); 40 – Akionsalmi; 41 – Velimäki; 42 – Nuolainiemi; 43 – Linnavaara; 44 – Hopunvaara; 45–46 – Salmi rapakivi massif: 45 – Haapaoja; 46 – Lyupikko; 47 – Karku; 48 – Ptitsefabrika; 49 – Ozernoe; 50 – Lagernoe

В целом Иокирантские пегматитовые жилы имеют ярко выраженную редкощелочнометалльную специализацию. Большинство минералов, слагающих эти пегматиты, имеют высокие содержания лития, рубидия, цезия. Турмалин, представленный радиально-лучистыми сростками размером до 15 × 20 см$^2$, содержит около 1,5% двуокиси лития, а также 0,022% галлия и 0,046% цинка. Он относится к эльбаитовому ряду (содержание эльбаита – 66%) с незначительными долями шерлового (13%), бюргеритового (11%), тсилазитового (6%) и увитового (4%) миналов. В пегматитах содержится разнообразная акцессорная минерализация: апатит, циркон, титанит, рутил, анатаз, флюорит, ганит, касситерит, ортит, монацит, ксенотим, гранат (спессартин), сульфиды железа, меди, молибдена (пирит, пирротин, молибденит). Содержание касситерита варьирует от 20 до 2500 г/т.

В Хаутоваарской структуре выявлено редкометалльное пегматитовое поле в составе 8 жил [Сафронова, Рыбаков, 1978], одна из которых содержит гигантские кристаллы (до 1,9 м в псевдоморфозах) сподумена. Эта жила сечет контакт амфиболита и феррогаббро. Ее размеры не выяснены, но судя по коренным выходам, составляют не менее 20 м по мощности и 100 м протяженности. Жила зональна, с хорошо развитыми кварц-клевеландит-сподуменовой и сопряженной с ней кварц-альбитовой зонами. В последней доминирующее распространение имеет мелкопластинчатый альбит, а сподумен нацело замещен циматолитом (мусковит-альбитовый агрегат). Суммарная видимая мощность обеих зон составляет 2,5–5 м. Содержание сподумена в кварц-клевеландит-сподуменовой зоне достигает 20–25%. Альбит в обеих зонах

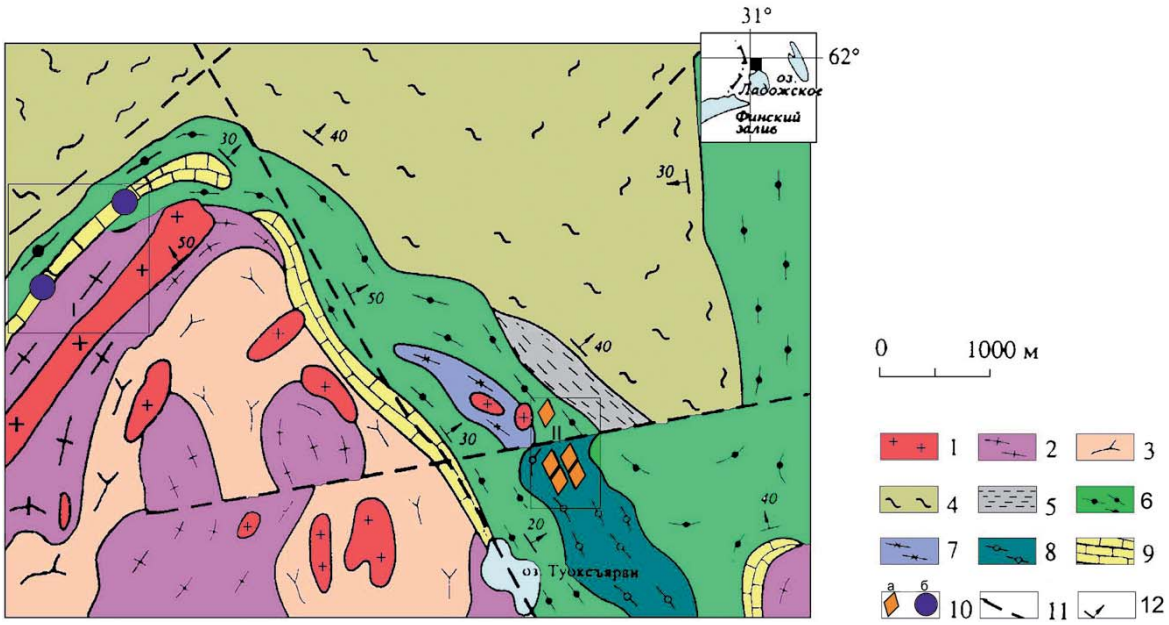



*Рис. 8.* Схема геологического строения северной части Иокирантского гнейсо-гранитного купола:

1 – плагиомикроклиновые и микроклиновые граниты; 2 – гнейсограниты и мигматиты по вулканогенно-терригенным образованиям кислого и среднего состава сортавальской и ладожской серий; 3 – мигматиты по основным вулканитам сортавальской серии; 4 – гранат- и андалузитсодержащие кварц-биотитовые сланцы с прослоями кварцитов и кварцитопесчаников (ладожская серия); 5–9 – сортавальская серия: 5 – графитсодержащие кварц-слюдистые и амфиболовые (апотуфовые) сланцы, 6 – амфиболовые сланцы и полевошпатовые амфиболиты с прослоями кварц-слюдистых сланцев, 7 – плагиофировые базальты и амфиболовые сланцы по ним, 8 – шаровые лавы базальтов, 9 – мраморизованные и скарнированные карбонатные породы, скарны с прослоями амфиболовых и слюдистых сланцев; 10 – рудопроявления: а – редкометалльные пегматиты, б – скарновые полиметаллические с W; 11 – тектонические нарушения; 12 – элементы залегания (сланцеватости) пород

*Fig. 8.* Geological scheme of the northern part of the Iokirant gneiss-granite dome:

1 – plagiomicrocline and microcline granites; 2 – gneiss-granites and migmatites after felsic and intermediate volcanic-terrigenous rocks of the Sortavala and Ladoga series; 3 – migmatites after basic volcanics of the Sortavala series; 4 – garnet- and andalusite-bearing quartz-biotite schists with interlayers of quartzite and quartzitesandstone (Ladoga series); 5–9 – Sortavala series: 5 – graphite-bearing quartz-micaceous and amphibole (apotuff) schists, 6 – amphibole schists and feldspar amphibolites with interlayers of quartz-mica schists, 7 – plagiophyric basalts and amphibole schists after them, 8 – basalt pillow lavas, 9 – marbleized and scarnified carbonate rocks, skarns with interlayers of amphibole and mica schists; 10 – ore occurrences: a – rare-metal pegmatites, b – polymetallic skarns with W; 11 – tectonic faults; 12 – elements of rock bedding (schistosity)

представлен несколькими генерациями, отличающимися морфологически и по содержанию редких щелочных металлов. Альбит содержит (г/т) Li – 3–148, Rb – 4–8427, Cs – 1–689; мусковит (%), Li – 0,04–1,2, Rb – 0,1–2,0 %, Cs – 0,08–0,64; сподумен (%) Li – 3,2–3,8, Rb – 0,07–0,12, Cs – 0,03–0,06 [Сафронова, Рыбаков, 1978]. В жиле установлены также спессартин, турмалин (Li 1,35 %), берилл (Li 0,16 %, Cs 0,7 %), танталит-колумбит. Другие пегматитовые жилы остались минералогически практически не изученными, вследствие плохой обнаженности, но контрастные ореолы повышенных содержаний редких щелочных элементов (Li 0,2 %, Rb 0,04 %) в их экзоконтактах свидетельствуют об их редкометалльной специализации.

Пегматитовые жилы Аськиярви и Визиполуостров прогнозируемого Северо-Карельского пегматитового поля расположены в СЗ части Беломорского пояса (см. рис. 7). Они прорывают архейские биотитовые гнейсы и амфиболиты и, вероятно, имеют протерозойский возраст. Простирание пегматитов субмеридиональное, мощность 35–45 м, прослеженная по обнажениям протяженность 140–440 м. Жилы зональны, с четко выделяющейся ядерной частью (до 20 м мощностью), сложенной гигантскими кристаллами (до 5 м) кварца, микроклина, альбита и редкометалльно-слюдистыми (цирголит, пирохлор, самарскит, эвксенит и др.) гнездами. По данным бороздового опробования (на 0,7 м) максимальные содержания Nb составляют 15–20 %, Zr – 2–10 %, Hf – до 1 %, Y – 2–3 %,

Ta – 0,05–1 %, Pb – 0,2–2 %, U – 1,32–1,93 %, Th – до 1,2 %, Ti – до 10 %, Rb – 0,36 %, Cs – 0,12 %, Li – 0,27 %, Sc – до 0,05 % [Солдатенко и др., 1999].

Повышенные содержания лития отмечаются также в Li-F гранитах Салминского и Улялегского массивов гранитов рапакиви, а также в метасоматитах с комплексным уранблагороднометалльно-ванадиевым оруденением (Падминский тип) Онежской структуры.

Минералами-концентраторами лития в Li-F гранитах являются слюды (Li-сидерофиллит, циннвальдит, протолитионит) с максимальными содержаниями Li до 2 % [Руб, Руб, 1986; Конышев и др., 2019].

В рудных метасоматитах Падминской группы месторождений литиевой минеральной фазой является тайниолит – высокофтористая (F 7 %) магнезиальная слюда с содержанием $Li_2O$ 2,5 % [Румянцева и др., 1984]. На U-V проявлении Яндомозерское тайниолит слагает зону слюдитов мощностью 0,4 м с содержанием Li 0,2–2,0 % [Солдатенко и др., 1999]. Масштабы распространения тайниолита и содержания лития в Падминских месторождениях неизвестны.

*РЗМ Карелии*

К наиболее «крупным» проявлениям с содержаниями РЗМ, достигающими 0,4–0,5 %, относятся Елетьозерское щелочно-габброидное пегматитовое, Длинное – субщелочных приразломных метасоматитов и Элисенваарская группа позднемагматических апатит-шошонитовых проявлений (см. рис. 7). Остальные, так называемые проявления являются всего лишь пунктами минерализации с содержаниями РЗМ (преимущественно легких), не превышающих 0,2 %.

Елетьозерское проявление приурочено к щелочно-габброидным пегматитам мощностью до 30 м и протяженностью 100–300 м. Редкометалльная минерализация представлена пирохлором, ферсмитом, колумбитом, цирконом, малаконом. Содержания полезных компонентов в рудах составляют: $Nb_2O_5$–0,1–0,56 %, Zr – до 1 %, $Ta_2O_5$ – до 0,015 %, РЗМ – до 0,36 % [Минерально-сырьевая…, 2005].

Проявление Длинное и несколько аналогичных ему, расположенные в Центральной Карелии (см. рис. 7), связаны с субщелочными и щелочными (?) пироксен-амфибол-микроклиновыми метасоматитами и альбититами, контролируемыми разломами и зонами милонитизации. Они содержат Nb 0,05–0,1 %, Zr 0,08–0,25 %, Ce 0,02–0,5 %, Hf до 0,01 %, La до 0,3 %, Y до 0,05 %, Yb до 0,03 % [Минерально-сырьевая…, 2005].

В настоящее время достоверными сведениями о минерагеническом потенциале Элисенваарской группы шошонитовых интрузий считается [Ладожская…, 2020] наличие нескольких комплексных ($P_2O_5$, редкоземельные металлы Се-й группы, полевошпатовое сырье) проявлений, из которых наиболее крупными являются Кайвомякское и Райвимякское (см. рис. 7).

Кайвомякское проявление связано с интенсивно биотитизированными и амфиболизированными умеренно щелочными меланогабброидами одноименного дифференцированного (до щелочнополевошпатовых сиенитов) массива площадью ~8 км$^2$. Рудоносные породы при бортовом содержании $P_2O_5$ 1,5 % слагают залежь протяженностью до 1000 м, шириной до 800 м. Минеральный состав руд фторапатит (5–20 %), полевые шпаты (5–30 %), амфибол, пироксен и биотит (30–60 %), титанит, алланит и магнетит (до 5–10 %). Содержание $P_2O_5$ в рудах варьирует от 1,5 до 9 % (среднее 2,33 %), РЗМ – 0,2–0,4 %, изредка достигая 1–1,5 %. Прогнозные ресурсы пентоксида фосфора по категориям $P_1 + P_2$ до глубины 300 м составляют 10760 тыс. т, в том числе $P_1$ до глубины 150 м – 5400 тыс. т [Минерально-сырьевая…, 2006].

Райвимякское проявление приурочено к меланократовым породам одноименной интрузии площадью ~6 км$^2$, во многом тождественной Кайвомякской, отличаясь значительным распространением более кремнекислотных пород – вплоть до умеренно щелочных гранитов. Апатитоносные породы характеризуются невыдержанностью минерального и химического составов и широкими вариациями содержаний $P_2O_5$ (0,5–8 %) и РЗМ (до 1,5–2 % в пегматитах). Прогнозные ресурсы пентоксида фосфора категории $P_3$ до глубины 300 м, оцененные в контуре массива по бортовому содержанию 1,5 %, составляют 21000 тыс. т при среднем содержании 3,0 % [Минерально-сырьевая…, 2006].

Средние содержания РЗМ в апатитоносных породах обоих проявлений составляют 0,2–0,4 % и определяются наличием соответствующей минерализации (алланит, апатит, титанит, циркон, монацит, бастнезит, церианит, Се-стетиндит и др. цериево-редкоземельные минералы). В составе РЗМ доля широко востребованных «магнитных» и остродефицитных $^{Y}$РЗМ (тяжелых) составляет как в породе в целом, так и в их главных минералах-концентраторах (апатите, титаните, алланите) всего лишь 1–9 % (табл. 4).

*Таблица 4.* Содержание РЗМ в апатитоносных породах и минералах-концентраторах редких земель Элисенваарской группы интрузий [Ладожская..., 2020]

*Table 4.* REE content in apatite-bearing rocks and rare earth minerals of the Elisenvaara group of intrusions [Ladoga..., 2020]

| Порода, минерал<br>Rock, mineral | ∑РЗМ, масс. %<br>∑REE, mass % | $^{Y}$РЗМ, масс. %<br>$^{Y}$REE, mass % | Доля $^{Y}$РЗМ, %<br>Share of $^{Y}$REE, % |
|---|---|---|---|
| Апатитоносные мафиты и ультрамафиты<br>Apatite-bearing mafites and ultramafites | 0,2–0,4 | 0,011–0,026 | 5,5–6,5 |
| Апатит<br>Apatite | 0,5–2,3 | 0,04–0,2 | 8,0–8,7 |
| Титанит<br>Titanite | 0,8–1,2 | 0,04–0,08 | 5,0–6,7 |
| Алланит<br>Allanite | 15,1–17,4 | 0,1–0,17 | 0,7–1,0 |

## Обсуждение результатов и выводы

**Литий.** Согласно Распоряжениям Правительства РФ № 2473-р от 30.08.2022 и № 939-р от 16.04.2024 литий включен в перечень основных видов дефицитного (критического) стратегического минерального сырья. В соответствии со «Стратегией развития минерально-сырьевой базы РФ до 2050 г.», утвержденной распоряжением Правительства РФ от 11.07.2024 № 1838-р, литий относится к третьей группе полезных ископаемых, объединяющей импортозависимые дефицитные виды, внутреннее потребление которых существенно зависит от импорта. В то же время Россия, развивая высокотехнологичную индустрию, будет использовать Li все в более возрастающих количествах.

В 2021 году Правительством РФ утверждена «Концепция по развитию и использованию электрического автомобильного транспорта в РФ на период до 2030 года», согласно которой к 2030 году планируется производить не менее 217 тыс. электромобилей, а для этого согласно Минпромторгу РФ годовая потребность России в литии составит 85 тыс. т. Правительство РФ согласно стратегии развития металлургической промышленности России поставило задачу до 2030 года вовлечь в освоение пять крупных литиевых месторождений на территории страны (пегматитовые – Колмозерское, Полмостундровское, Тастыгское; гидроминеральные – Ковыктинское, Ярактинское), возобновить добычу на Завитинском месторождении и обеспечить внутренние потребности в литиевом сырье [Литий..., 2025]. Однако с учетом современной геополитической обстановки в мире Минпромторг России снизил годовой спрос на литий в стране до 10 тыс. т к 2030 году [Полярному..., 2026]. Вследствие этого всем российским литиевым проектам, в том числе и крупнейшему – «Полярному литию» требуется существенная государственная поддержка. Этот и другие актуальные вопросы развития литиевой отрасли, обсуждавшиеся на Форуме Creon Group «Литий-2025» [Домов, 2025], обозначили ряд проблем в наращивании производства лития в России, на решении которых необходимо сосредоточиться в ближайшем будущем.

На Колмозерском и Полмостундровском месторождениях, расположенных по соседству с Карелий, в Мурманской обл., уже начались соответствующие работы по их освоению компанией «Полярный литий» – совместное предприятие «Росатома» и «Норникеля». Запасов при годовой добыче руды 2 млн т хватит на 40 лет.

Для успешной деятельности любого горнодобывающего и перерабатывающего производства в перспективе требуется наращивание используемой минерально-сырьевой базы. Соответственно, для проекта «Полярный литий» это условие в будущем может выполняться как за счет доразведки Колмозерского месторождения, так и привлечением редкометалльных ресурсов пегматитовых рудных объектов на территории Карелии. В первую очередь, это пегматитовые проявления Аськиярви и Визиполуостров, которые по настоящее время остаются практически не изученными. Однако высокие содержания в них Nb, Ta, близкие к промышленным – Li, Cs и других редких элементов с учетом структурных особенностей (размер кристаллов до 5 м), сопоставимых с Колмозерскими пегматитовыми жилами, и признаки зонального строения позволяют предполагать наличие в этих пегматитовых жилах зон с лепидолитом и сподуменом.

Редкометалльные пегматиты с лепидолитом и сподуменом в Ладожской (Иокирантское) и Хаутаваарской (Случайное) структурах

(см. рис. 7) изучены слабо и только с поверхности [Сафронова, Рыбаков, 1978; Иващенко, Лавров, 1993], но даже по этим ограниченным данным усматривается их большое сходство с LCT-пегматитами районов Каустинен и Сомеро-Таммела в Финляндии, которые готовятся к разработке [Sarapää et al., 2015]. На современном эрозионном срезе пегматиты Иокиранты имеют лепидолит-кварц-клевеландитовый и Li-мусковит-кварц-калиевополевошпатовый минеральный состав, что в соответствии с установленными особенностями зональности некоторых LCT-пегматитов в других регионах мира [Bradley et al., 2017a; Liu et al., 2022; Wang et al., 2022] может предопределять вероятное нахождение на более глубоких уровнях Иокирантских пегматитов зон, обогащенных сподуменом.

Li-F граниты Салминского и Улялегского массивов рапакиви в местах их обогащения литий-обогащенными слюдами отвечают гранитному промышленному типу месторождений лития, наиболее известным представителем которого является месторождение Ичунь в Китае [USGS, 2012]. Месторождение связано с Ичуньским гранитным интрузивом, имеющим зональное строение (снизу вверх): средне-крупнозернистые протолитионитовые граниты → среднезернистые микроклин-альбитовые протолитионит-мусковитовые граниты → мелкозернистые альбитизированные мусковит-лепидолитовые граниты → мелкозернистые альбит-лепидолитовые граниты → альбитизированные и грейзенизированные топаз-лепидолитовые граниты и грейзены [USGS, 2012]. Li-F гранитные интрузии Ладожской структуры имеют ряд минералого-геохимических особенностей [Конышев и др., 2019; Ivashchenko, 2023], сходных с таковыми Ичуньского интрузива, но для определения их рудного потенциала на литий необходимы дополнительные данные, главным образом, об их вертикальном строении. Наиболее вероятным местом нахождения перспективных на промышленный литий гранитов, исходя из данных буровых работ, проведенных в Питкярантском рудном районе более 50 лет назад, является Уксинская купольная структура.

Специальное опробование на литий на месторождениях Падминской группы не проводилось, Тайниолит макроскопически – светлая слюда, похожая на серицит или флогопит. Высокие содержания лития на Яндомозерском проявлении получены случайно. На Падминских месторождениях внешние безрудные зоны метасоматитов со светлой слюдой, принимавшейся, вероятно, за серицит, которая, возможно, была тайниолитом, не опробовались. В случае подтверждения широкого распространения тайниолита в падминских рудах их ценность может существенно возрасти за счет лития как попутного компонента, тем самым повышая экономическую привлекательность Падминских месторождений для комплексного промышленного освоения.

**РЗМ.** В России в настоящее время добыча редкоземельных руд производится только на Ловозерском месторождении. Ловозерский ГОК работает на 1/3 проектной мощности с низкой экономической эффективностью [Государственный…, 2024]. Это обусловлено низкой годовой производительностью (13 тыс. т) Соликамского завода в Пермской обл., куда направляется получаемый ГОКом лопаритовый концентрат и отсутствием в России разделительного производства РЗМ. Конечный продукт на Соликамском заводе – 2 тыс. т неразделенного карбоната РЗМ, 600 т пентоксида Nb и 40 т пентоксида Ta. Коллективный концентрат РЗМ экспортируется в Китай, а потом Россия покупает у Китая готовые изделия, содержащие РЗМ. В СССР разделительные производства РЗМ были в Эстонии, Казахстане, Киргизии. В настоящее время небольшое производство разделенных РЗМ осуществляет «Росатом». Сдерживающим фактором развития редкоземельной промышленности в России является отсутствие технологических цепочек для получения разделенных РЗМ. Поэтому, несмотря на громадные запасы РЗМ и наличие таких уникальных месторождений как Томторское (3,23 млн т РЗМ с содержанием 11,99 %), Россия обеспечивает себя РЗМ в основном только за счет импорта [Государственный…, 2024].

Согласно госпрограмме по разработке РЗМ, Россия к 2030–2035 гг. должна выйти на самообеспечение и полностью отказаться от импорта РЗМ. В ближайшем будущем планируется освоение крупных месторождений комплексных руд, связанных с карбонатитами и корами выветривания по ним (Томторское в Республике Саха (Якутия), Чуктуконское в Красноярском крае и Белозиминское в Иркутской обл.), а также создание производственных линий по переработке этих руд с получением разделенных РЗМ [Государственный…, 2024]. Более того, потенциальные возможности России в увеличении объемов производства РЗМ могут удовлетворить почти половину мировой потребности в этих металлах за счет их получения из апатитового концентрата Хибинских месторождений по технологии, патентом на которую владеет «Росатом».

Таким образом, в России проблем с запасами и ресурсами РЗМ нет. Они есть только в технологиях производства и разделения РЗМ. Следовательно, незначительные по масштабам и с бедными рудами проявления РЗМ на территории Карелии, не относящиеся к ведущим промышленным типам редкоземельного оруденения, в долгосрочной перспективе промышленного интереса не представляют.

Ситуация с литием Карелии несколько иная. При успешном освоении в ближайшем будущем комплексных литиевых месторождений на Кольском п-ове и в Финляндии их формационно-возрастные аналоги на территории Карелии при соответствующем доизучении могут перейти в категорию экономически значимых рудных объектов.

## Литература


*Быховский Л. З.* Реальные, потенциальные и перспективные источники редкоземельного сырья в России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2014. № 4. С. 2–8.

*Быховский Л. З., Пикалова В. С., Лихникевич Е. Г.* Редкоземельное и скандиевое сырье: алгоритм освоения природных и техногенных источников // Минерально-сырьевая база металлов высоких технологий. Освоение, воспроизводство, использование: Тр. науч.-практ. конф. М.: ФГБУ ВИМС, 2020. С. 24–33.

*Государственный* доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2023 году. М.: ВИМС, 2024. 710 с.

*Домов А.* Литиевый парадокс: куда повернет отрасль после падения спроса. Редкие земли. 22.10.2025. URL: https://rareearth.ru/ru/pub/20251022/04462.html (дата обращения: 25.11.2025).

*Дробот Д. В., Буслаева Т. М.* Редкие и платиновые металлы в XX–XXI вв. // Рос. хим. журн. 2001. Т. XLV, № 2. С. 46–55.

*Иващенко В. И.* Главные руднoформационные типы редкометалльного оруденения Карелии // Геология рудных месторождений. 2016. Т. 58, № 2. С. 189–194.

*Иващенко В. И., Лавров О. Б.* Новое Иокирантское поле редкометалльных пегматитов в Приладожье (Карелия) // Геология рудных месторождений. 1993. Т. 35, № 6. С. 544–546.

*Конышев А. А., Алферьева Я. О., Аносова М. О., Русак А. А., Корепанов Я. И.* Состав слюд гранитов Салминского батолита как индикатор формирования Nb–Ta минерализации // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2019. № 3. С. 69–77.

*Кулешевич Л. В.* Редкоземельная минерализация Тикшеозерско-Елетьозерского щелочного комплекса (Северная Карелия) // Геология и полезные ископаемые Карелии: сб. ст. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2016. Вып. 18. С. 71–87.

*Кулешевич Л. В., Дмитриева А. В., Хазов Р. А.* Ba-Sr-P-Ti-TR-полевошпатовое сырье Элисенваарского щелочного комплекса (Карелия): геохимия и минералогия редкоземельных элементов // Ученые записки ПГУ. 2014. № 4. С. 67–70.

*Ладожская* протерозойская структура (геология, глубинное строение и минерагения) / Отв. ред. Н. В. Шаров. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2020. 435 с.

*Литий* России // ВМ NEDRADV. URL: https://nedradv.ru/nedradv/ru/ratings?rubric=10bf605261c2320b59dda400e8a644e6#8d563 (дата обращения: 18.09.2025).

*Литий-ионные* аккумуляторы: мировой рынок и тренды развития. URL: https://xn-80aplem.xn-p1ai/analytics/Litij-ionnye-akkumulatory-mirovoj-rynok-i-trendy-razvitia/ (дата обращения: 18.09.2025).

*Минерально-сырьевая* база Республики Карелия. Кн. 1 / Ред. В. П. Михайлов, В. Н. Аминов. Петрозаводск: Карелия, 2005. 278 с.

*Минерально-сырьевая* база Республики Карелия. Кн. 2 / Ред. В. П. Михайлов, В. Н. Аминов. Петрозаводск: Карелия, 2006. 356 с.

*Обзор* рынка лития – 2024 год. URL: https://longterminvestments.ru/lithium-market-2024/ (дата обращения: 21.11.2025).

«*Полярному* литию» потребуется господдержка из-за падения прогноза спроса. URL: https://www.rbc.ru/business/21/05/2026/6a0de6e39a7947402fecfe00 (дата обращения: 23.09.2026).

*Редкоземельные* металлы в мире: в поисках сокровищ. Добывающая промышленность. URL: https://dprom.online/mining/redkozemelnye-metally-v-mire-v-poiskah-sokrovishh/ (дата обращения: 12.05.2025а).

*Редкоземельные* металлы в России: действующие проекты и перспективы. URL: https://dprom.online/mining/ryedkozyemyelniye-myetalli-v-rosseeee/ (дата обращения: 12.05.2025б).

*Российский* металлогенический словарь. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2003. 320 с.

*Руб М. Г., Руб А. К.* Слюды редкометалльных, оловоносных и вольфрамоносных магматических ассоциаций как индикаторы их генезиса и рудоносности // Особенности породообразующих минералов магматических пород. М.: Наука, 1986. С. 101–126.

*Румянцева Е. В., Мищенко К. С., Калиничева Л. И.* Тайниолит и хромованадиевые слюды в метасоматитах Карелии // Записки ВМО. 1984. Вып. 1. С. 68–75.

*Сафронова Г. П., Рыбаков С. И.* Новое редкометалльное пегматитовое поле в Восточной части Балтийского щита // Геология, минералогия и геохимия пегматитовых полей Карелии. Петрозаводск: Кар. ФАН СССР, 1978. С. 62–71.

*Середин В. В.* Новый метод первичной оценки перспективности редкоземельных руд // Геология рудных месторождений. 2010. № 52(5). С. 475–480.

*Солдатенко В. Е. и др.* Регистрационная карта полезных ископаемых Республики Карелия по результататм работ ГП «Невскгеология». (Отчет по договору № 8-097 с Карелприродресурсом). 1999 г. Кар. ТФГИ.

*Твердохлебова Т. В., Усова Е. А.* Экономическая глобализация и проблемы национальной и международной безопасности // Пробл. совр. экономики. 2011. № 4. С. 34–37.

*Хазов Р. А., Попов М. Г., Бискэ Н. С.* Рифейский калиевый щелочной магматизм южной части Балтийского щита. СПб.: Наука, 1993. 217 с.

*Цивадзе А. Ю., Бездомникова А. А., Костикова Г. В.* Литиевый бум: источники лития и перспективы российской литиевой промышленности // Геол. рудных месторождений. 2023. Т. 65, № 5. С. 444–449.

*Batapola N. M., Dushyantha N. P., Premasiri H. M. R., Abeysinghe A. M. K. B., Rohitha L. P. S., Ratnayake N. P., Dissanayake D. M. D. O. K., Ilankoon I. M. S. K., Dharmaratne P. G. R.* A comparison of global rare earth element (REE) resources and their mineralogy with REE prospects in Sri Lanka // Journal of Asian Earth Sciences 200. 2020. 104475. doi: 10.1016/j.jseaes.2020.104475

*Bradley D. C., McCauley A. D., Stillings L. M.* Mineral-deposit model for lithium-cesium-tantalum pegmatites: U. S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5070-0, 2017a. 48 p. doi: 10.3133/sir201050700

*Bradley D. C., Stillings L. L., Jaskula B. W., Munk Lee-Ann, McCauley A. D*. Lithium, chap. K. Eds.: K. J. Schulz, J. H. Jr. DeYoung, R. R. Seal, D. C. Bradley. Critical mineral resources of the United States–Economic and environmental geology and prospects for future supply: U. S. Geological Survey Professional Paper 1802. 2017b. P. K1–K21. doi: 10.3133/pp1802K

*Bru K., Christmann P., Labbé J. F., Lefebvre G.* Panorama mondial 2014 du marché des Terres Rares. Rapport BRGM RP-64330-FR. 2015.

*Gardiner N. J., Jowitt S. M., Sykes J. P.* Lithium: critical, or not so critical? Geoenergy 2023-045. 2024. Vol. 2. doi: 10.1144/geoenergy2023-045

*Greenbushes* home to the world's premier lithium mineral asset. August 2022. URL: https://www.talison-lithium.com (дата обращения: 21.12.2022).

*Grew E. S., Hystad G., Toapanta M. P. C., Eleish A., Ostroverkhova A., Golden J., Hazen R. M.* Lithium mineral evolution and ecology: comparison with boron and beryllium // Eur. J. Mineral. 2019. no. 31. P. 755–774.

*Ivashchenko V. I.* Critical metals mineralization in the late-stage intrusions of Salmi Batholith, Ladoga Karelia, Russia // Minerals. 2023. no. 13. 648 p. doi: 10.3390/min13050648

*Liu C. X., Sun F. Y., Li J. Q., Han J., Qian Y., Zhang Y. J., Hui C., Bakht S.* The petrogenesis and metallogenesis of the Chakabeishan Li-Be pegmatitic deposit in Qinghai, NW China: Evidence from Geochronology, Geochemistry, and mineral geochemistry // Ore Geology Reviews. 2022. no. 150. P. 105–186.

*McLennan S. M.* Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust // Geochemistry Geophysics Geosystems. 2001. Vol. 2, no. 4. 24 p. [Also available at doi: 10.1029/2000GC000109]

*Mineral* Commodity Summaries. 2024. U. S. Geological Survey, Washington. 2024. 210 p.

*Mudd G. M.* Assessing the Availability of Global Metals and Minerals for the Sustainable Century: From Aluminium to Zirconium // Sustainability. 2021. no. 13. P. 10855. doi: 10.3390/su131910855

*Putzolu F., Armstrong R. N., Boyce A. J., Hepburn L. E., Bompard N., Najorka J., Lefebvre-Desanois M., Milton A. J., Salge T., Erak D., Abad I., Herrington R. J.* Origin of the Jadar Volcano-Sedimentary Li-B Deposit, Serbia // Economic Geology. 2025. 27 p. doi: 10.5382/econgeo.5132

*Sarapää O., Lauri L. S., Ahtola T., Al-Ani T., Grönholm S., Kärkkäinen N., Lintinen P., Torppa A., Turunen P.* Discovery potential of hi-tech metals and critical minerals in Finland. Geological Survey of Finland, Report of Investigation 219. Espoo, 2015. 54 p.

*Sebastiaan D., Mancheri N., Tukker A., Brown T., Petavratzi E., Espinoza L.* Report on the current use of critical raw materials. Solutions for CRitical Raw materials. European Expert Network. 2017. 91 p.

*Technical* Report on the Pre Feasibility for the Thacker Pass Project, Humboldt Country, Nevada, USA. 2018. 266 p.

USGS. Mineral Commodity Summaries, W. 2012. P. 94–95.

*Wang Z., Li J., Chen Z., Yan Q., Xiong X., Li P., Deng J.* Evolution and Li Mineralization of the No. 134 Pegmatite in the Jiajika Rare-Metal Deposit, Western Sichuan, China: Constrains from Critical Minerals // Minerals. 2022. no. 12. P. 45. doi.10.3390/min12010045

## References

*Batapola N. M., Dushyantha N. P., Premasiri H. M. R., Abeysinghe A. M. K. B., Rohitha L. P. S., Ratnayake N. P., Dissanayake D. M. D. O. K., Ilankoon I. M. S. K., Dharmaratne P. G. R.* A comparison of global rare earth element (REE) resources and their mineralogy with REE prospects in Sri Lanka. *J. Asian Earth Sci*. 2020;200:104475. doi: 10.1016/j.jseaes.2020.104475

*Bradley D. C., McCauley A. D., Stillings L. M.* Mineral-deposit model for lithium-cesium-tantalum pegmatites: *U. S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5070-0.* 2017a. 48 p. doi: 10.3133/sir201050700

*Bradley D. C., Stillings L. L., Jaskula B. W., Munk Lee-Ann, McCauley A. D*. Lithium, chap. K. Eds. Schulz K. J., DeYoung J. H. Jr., Seal R. R., Bradley D. C. Critical mineral resources of the United States. *Economic and environmental geology and prospects for future supply: U. S. Geological Survey Professional Paper 1802.* 2017b. P. K1–K21. doi: 10.3133/pp1802K

*Bru K., Christmann P., Labbé J. F., Lefebvre G.* Panorama mondial 2014 du marc*hé* des Terres Rares. *Rapport BRGM RP-64330-FR*. 2015.

*Bykhovskii L. Z.* Real, potential and promising sources of rare earth raw materials in Russia. Mineral'nye resursy Rossii. *Ehkonomika i upravlenie = Mineral Resources of Russia. Economics and Management*. 2014;4:2–8. (In Russ.)

*Bykhovskii L. Z., Pikalova V. S., Likhnikevich E. G.* Rare earth and scandium raw materials: an algorithm for developing natural and man-made sources. *Mineral'no-syr'evaya baza metallov vysokikh tekhnologii. Osvoenie, vosproizvodstvo, ispol'zovanie = Mineral resource base of high-tech metals. Development, reproduction, use.* Proceed. of the scientific and practical conf. Moscow: FGBU VIMS; 2020. P. 24–33. (In Russ.)

*Domov A.* The lithium paradox: where the industry will turn after the drop in demand. *Redkie zemli = The Rare Earth Magazine*. October 22, 2025. URL: https://rareearth.ru/ru/pub/20251022/04462.html (accessed: 23.11.2025). (In Russ.)

*Drobot D. V., Buslaeva T. M.* Rare and platinum metals in the XX–XXI centuries. *Ros. khim. zhurnal = Russ. Chemical J.* 2001; XLV(2):46–55. (In Russ.)

*Gardiner N. J., Jowitt S. M., Sykes J. P.* Lithium: critical, or not so critical? *Geoenergy.* 2023-045. 2024;2. doi: 10.1144/geoenergy2023–045

*Greenbushes* home to the world's premier lithium mineral asset. August 2022. URL: https://www.talison-lithium.com (accessed: 21.12.2022).

*Grew E. S., Hystad G., Toapanta M. P. C., Eleish A., Ostroverkhova A., Golden J., Hazen R. M.* Lithium mineral evolution and ecology: comparison with boron and beryllium. *Eur. J. Mineral.* 2019;31:755–774.

*Ivashchenko V. I.* Main ore-formation types of rare-metal mineralization in Karelia. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii = Geology of Ore Deposits.* 2016;58 (2):189–194. (In Russ.)

*Ivashchenko V. I.* Critical metals mineralization in the late-stage intrusions of Salmi Batholith, Ladoga Karelia, Russia. *Minerals.* 2023;13:648. doi: 10.3390/min13050648

*Ivashchenko V. I., Lavrov O. B.* A new rare-earth pegmatite field at Iokiranta in the Ladoga region (Karelia). *Geologiya rudnykh mestorozhdenii = Geology of Ore Deposits*. 1993;35(6):44–546. (In Russ.)

*Khazov R. A., Popov M. G., Biske N. S.* Riphean potassic alkaline magmatism of the Southern Baltic Shield. St. Petersburg: Nauka; 1993. 217 p. (In Russ.)

*Konyshev A. A., Alfer'eva Ya. O., Anosova M. O., Rusak A. A., Korepanov Ya. I.* Composition of micas from granites of the Salmi batholith as an indicator of Nb–Ta mineralization formation. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Ser. 4. Geologiya = Moscow University Geology Bulletin*. 2019;3:69–77. (In Russ.)

*Kuleshevich L. V.* Rare-earth mineralization of the Tiksheozero-Eletozero alkaline complex (Northern Karelia). *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii = Geology and Mineral Resources of Karelia*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2016. Iss. 18. P. 71–87. (In Russ.)

*Kuleshevich L. V., Dmitrieva A. V., Khazov R. A.* Ba-Sr-P-Ti-REE-feldspar raw materials of the Elisenvaara alkaline complex (Karelia): geochemistry and mineralogy of rare-earth elements. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gos. universiteta = Proceed. Petrozavodsk State University*. 2014;4:67–70. (In Russ.)

*Lithium* of Russia. BM NEDRADV. URL: https://nedradv.ru/nedradv/ru/ratings?rubric=10bf605261c2320b59dda400e8a644e6#8d563 (accessed: 18.09.2025). (In Russ.)

*Lithium-ion* batteries: global market and development trends. URL: https://xn-80aplem.xn-p1ai/analytics/Litij-ionnye-akkumulatory-mirovoj-rynok-i-trendy-razvitia (accessed: 18.09.2025). (In Russ.)

*Lithium* market overview – 2024. URL: https://longterminvestments.ru/lithium-market-2024/ (accessed: 22.11.2025). (In Russ.)

*Liu C. X., Sun F. Y., Li J. Q., Han J., Qian Y., Zhang Y. J., Hui C., Bakht S.* The petrogenesis and metallogenesis of the Chakabeishan Li-Be pegmatitic deposit in Qinghai, NW China: evidence from geochronology, geochemistry, and mineral geochemistry. *Ore Geology Reviews*. 2022;150:105186.

*McLennan S. M.* Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. *Geochemistry Geophysics Geosystems*. 2001;2(4):24. doi: 10.1029/2000GC000109

*Mikhailov V. P., Aminov V. N. (eds.).* Mineral resource base of the Republic of Karelia. Book 1. Petrozavodsk: Karelia Publ.; 2005. 278 p. (In Russ.)

*Mikhailov V. P., Aminov V. N. (eds.).* Mineral resource base of the Republic of Karelia. Book 2. Petrozavodsk: Karelia Publ.; 2006. 356 p. (In Russ.)

*Mineral* Commodity Summaries, 2024. U. S. Geological Survey, Washington. 2024. 210 p.

*Mudd G. M.* Assessing the availability of global metals and minerals for the sustainable century: from aluminium to zirconium. *Sustainability.* 2021;13:10855. doi: 10.3390/su131910855

*'Polar* Lithium' will require state support due to lowered demand forecast. URL: https://www.rbc.ru/business/21/05/2026/6a0de6e39a7947402fecfe00 (accessed: 23.09.2026). (In Russ.)

*Putzolu F., Armstrong R. N., Boyce A. J., Hepburn L. E., Bompard N., Najorka J., Lefebvre-Desanois M., Milton A. J., Salge T., Erak D., Abad I., Herrington R. J.* Origin of the Jadar volcano-sedimentary Li-B deposit, Serbia. *Economic Geology.* 2025. 27 p. doi: 10.5382/econgeo.5132

*Rare* earth metals in the world: in search of treasures. Mining industry. URL: https://dprom.online/mining/redkozemelnye-metally-v-mire-v-poiskah-sokrovishh (accessed: 12.05.2025a.) (In Russ.)

*Rare* earth metals in Russia: current projects and prospects. URL: https://dprom.online/mining/ryedkozyemyelniye-myetalli-v-rosseeee/ (accessed: 12.05.2025б.). (In Russ.)

*Rub M. G., Rub A. K.* Micas of rare-metal, tin-bearing and tungsten-bearing igneous associations as indicators of their genesis and ore content. *Osobennosti porodoobrazuyushchikh mineralov magmaticheskikh porod = Features of rock-forming minerals of igneous rocks.* Moscow: Nauka; 1986. P. 101–126. (In Russ.)

*Rumyantseva E. V., Mishchenko K. S., Kalinicheva L. I.* Tainiolit and chromium-vanadium micas in Karelian metasomatites. *Zapiski VMO = Zapiski of the All-Union Mineralogical Society*. 1984;1:68–75. (In Russ.)

*Russian* metallogenic dictionary. St. Petersburg: VSEGEI Publ.; 2003. 320 p. (In Russ.)

*Sarapää O., Lauri L. S., Ahtola T., Al-Ani T., Grönholm S., Kärkkäinen N., Lintinen P., Torppa A., Turunen P.* Discovery potential of hi-tech metals and critical minerals in Finland. Geological Survey of Finland, *Report of Investigation 219*. Espoo. 2015. 54 p.

*Sebastiaan D., Mancheri N., Tukker A., Brown T., Petavratzi E., Espinoza L.* Report on the current use of critical raw materials. *Solutions for CRitical Raw materials. European Expert Network.* 2017. 91 p.

*Safronova G. P., Rybakov S. I.* New rare-metal pegmatite field in the eastern part of the Baltic Shield. *Geologiya, mineralogiya i geokhimiya pegmatitovykh polei Karelii = Geology, mineralogy, and geochemistry of pegmatite fields of Karelia.* Petrozavodsk: Kar. Br. AS USSR; 1978. P. 62–71. (In Russ.)

*Seredin V. V.* A new method for primary assessment of rare earth ores prospects. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii = Geology of Ore Deposits.* 2010;52(5):475–480. (In Russ.)

*Sharov N. V. (ed.).* Ladoga Proterozoic structure (geology, deep structure, and minerageny). Petrozavodsk: KarRC RAS; 2020. 435 p. (In Russ.)

*Soldatenko V. E. et al.* Registration map of mineral resources of the Republic of Karelia based on the results of work by the Nevskgeologiya state enterprise. (Report on contract No. 8-097 with Karelprirodresurs). 1999. Kar. TFGI. (In Russ.)

*State* report on the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2023. Moscow: VIMS; 2024. 710 p. (In Russ.)

*Technical* Report on the Pre Feasibility for the Thacker Pass Project, Humboldt Country, Nevada, USA. 2018. 266 p.

*Tverdokhlebova T. V., Usova E. A.* Economic globalization and problems of national and international security. *Probl. sovr. ehkonomiki = Problems of Modern Economics.* 2011;4:34–37. (Russ.)

*Tsivadze A. Yu., Bezdomnikova A. A., Kostikova G. V.* Lithium Boom: Lithium Sources and Prospects of the Russian Lithium Industry. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii = Geology of Ore Deposits.* 2023;65(5):444–449. (In Russ.)

*USGS.* Mineral Commodity Summaries, W. 2012. P. 94–95.

*Wang Z., Li J., Chen Z., Yan Q., Xiong X., Li P., Deng J.* Evolution and Li mineralization of the No. 134 Pegmatite in the Jiajika rare-metal deposit, Western Sichuan, China: constrains from critical minerals. *Minerals.* 2022;12:45. doi: 10.3390/min12010045

*Поступила в редакцию / received: 30.09.2025; принята к публикации / accepted: 01.10.2026.*
*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflict of interest.*

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

**Иващенко Василий Иванович**

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

*e-mail: ivashche@krc.karelia.ru*

## CONTRIBUTOR:

**Ivashchenko, Vasily**

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