

Научная статья
УДК 553.3/4
doi:10.37614/2949-1215.2025.16.1.004

СНОВА О РЕДКИХ ЗЕМЛЯХ ИЗ АПАТИТА

Андрей Валерьевич Нечаев¹, Евгений Георгиевич Поляков²

^{1, 2}АО «ГК «Русредмет», Санкт-Петербург, Россия

¹anechaev@rusredmet.ru

²ev-polyakov@mail.ru

Аннотация

Рассмотрено современное состояние рынка редкоземельных металлов (РЗМ) и тенденции его развития. Показана доминирующая роль магнитных РЗЭ — Pr, Nd, Sm, Dy в общей структуре потребления РЗМ. Перечислены требования к месторождениям, удовлетворяющие требованиям рынка в кратко- и среднесрочной перспективах. Предложен приоритетный порядок освоения отечественных месторождений редкоземельного сырья.

Ключевые слова:

рынок РЗЭ, Pr, Nd, Sm, Dy, апатит, экстракционная фосфорная кислота

Для цитирования:

Нечаев А. В., Поляков Е. Г. Снова о редких землях из апатита // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2025. Т. 16, № 1. С. 27–30. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.1.004.

Original article

AGAIN ABOUT RARE EARTHS FROM APATITE

Andrey V. Nechaev¹, Evgeny G. Polyakov²

^{1, 2}Rusredmet Group of Companies, St. Petersburg, Russia

¹anechaev@rusredmet.ru

²ev-polyakov@mail.ru

Abstract

The current state of the market of rare earth metals and trends in its development are considered. The dominant role of magnetic REEs—Pr, Nd, Sm, Dy in the overall structure of REM consumption is shown. The requirements for deposits that meet the requirements of the market in the short and medium term are presented. A priority procedure for the development of domestic deposits of rare earth raw materials is proposed.

Keywords:

REE market, Pr, Nd, Sm, Dy, apatite, extractive phosphoric acid

For citation:

Nechaev A. V., Polyakov E. G. Again about rare earths from apatite // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2025. Vol. 16, No. 1. P. 27–30. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.1.004.

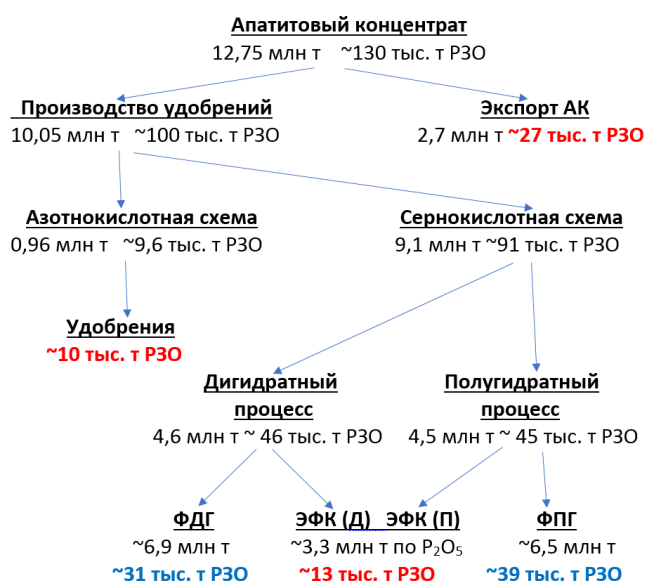
Внимание, уделяемое в настоящее время редким землям в мире, объясняется их важной, подчас решающей, ролью в энергетике, транспорте, робототехнике и других отраслях. За годы проведения специальной военной операции они, используемые в производстве разнообразных дронов, принципиально изменили тип боевых действий. Не удивительно, что сейчас сектор редкоземельных металлов стал самым быстрорастущим сектором с точки зрения инвестиций в мировую горнодобывающую промышленность [1]. Наиболее быстрорастущим сектором потребления РЗМ является производство магнитов (более 40 % по объему и 90 % по стоимости), где востребованы, прежде всего, Pr, Nd, Sm, Tb и Dy, в меньшей степени — Ce и Gd, причем здесь потребность в празеодиме, неодиме и самариикратно превышает потребность в церии, гадолинии, тербии и диспрозии.

Подавляющее количество мировых месторождений, пригодных для извлечения редких земель, богато преимущественно церием и лантаном. Но даже относительно высокое содержание в рудах неодима и празеодима оказывается недостаточным для устойчивого развития магнитной отрасли. По прогнозам ведущей группы аналитиков из Adamas Intelligence [2], при ожидаемом росте мирового

спроса на магниты NdFeB в среднем на 7,5 % в год в период 2023–2040 гг., рост среднегодового производства дидима (Nd + Pr), диспрозия и тербия в мире составит только 5,2 %. Прогнозируется дефицит оксида дидима к 2040 г. в объеме 90 000 т/г, а оксидов тербия и диспрозия соответственно — 450 и 1 800 т/г. Не имея собственного исходного сырья для производства неодимовых магнитов, мы вынуждены в быстро растущих объемах импортировать его для реализации программ создания робототехники, беспилотной авиации и других специальных применений, что в условиях санкционного давления создает серьезные трудности. Вышесказанное определяет необходимость разработки и реализации развернутой концепции быстрого воссоздания независимой от внешних поставок полной цепи производств вплоть до конечной потребительской продукции [3]. Первым звеном в этой цепи является сырье, призванное удовлетворить прежде всего потребности производителей высококоэрцитивных магнитов типа NdFeB и SmCo. Требования при выборе такого сырья — запасы, достаточные для длительного потребления; высокое относительное содержание группы магнитных РЗЭ; сбалансированность по содержанию основных (Pr, Nd) и легирующих (Tb, Dy) компонентов; удобная локализация источника с точки зрения логистики и наличия инфраструктуры; апробированность технологии переработки; желательны отсутствие радиоактивности и минимальное количество отходов переработки, способствующие экономической эффективности производства. В сложившейся ситуации очень важны минимальные сроки реализации проекта.

С этих позиций отечественные источники минерального и техногенного редкоземельного сырья можно расставить в следующем приоритетном порядке: промежуточный продукт переработки хибинского апатита — *экстракционная фосфорная кислота — ЭФК (в перспективе кратко- и среднесрочной)*; *эвдиалит Ловозера (в долгосрочной перспективе)*; *колумбит Зашихинского месторождения*; *растворы скважинного подземного выщелачивания урана (СПВ) «Далура»*. При этом очевидна необходимость сохранения, а лучше — наращивания, объемов переработки лопарита для обеспечения текущих потребностей различных отраслей промышленности, а также начала работ (сначала организационно-правовых) по рециклингу РЗМ из отходов постпотребительской стадии. Первая позиция в этом ряду проекта ЭФК оправдана не только высокой степенью его готовности к реализации [4; 5], но и нравственной составляющей, поскольку с ней извлеченные из недр редкие земли теряются уже безвозвратно.

По данным годовых отчетов компаний «ФосАгро» и СЗФК [6; 7], общее производство ими апатитового концентрата в 2024 г. составило 12 751 тыс. т, переработка в цикле производства удобрений — 10 063 тыс. т, оставшиеся 2 688 тыс. т стали предметом экспорта (рисунок).



Распределение редкоземельных оксидов в процессах переработки апатитового концентрата хибинских месторождений

Таким образом, в составе апатитового концентрата из недр в 2024 г. было извлечено и в дальнейшем списано с Государственного баланса запасов около 130 тыс. т РЗО, распределившихся по следующим группам: *безвозвратные потери* (экспорт, экстракционная фосфорная кислота и азотно-фосфорнокислый раствор) и *возвратные потери* (фосфогипс). В сравнении с 2021 г. [8] объем списания вырос на 10 тыс. т. Невязка баланса (<8 %) ~130 тыс. т РЗО в исходном концентрате и ~120 тыс. т в конечных продуктах представляется допустимой в рамках принятой нами качественной оценки потоков.

Важно отметить, что почти 40 % редких земель полученного апатитового концентрата (50 тыс. т) ежегодно теряются безвозвратно в виде скрытого экспорта с концентратом и рассеиваясь с удобрениями по полям. На протяжении многих лет, несмотря на положительную оценку разработанных процессов извлечения РЗЭ из экстракционной фосфорной кислоты [5], производители удобрений не проявляют интереса к их промышленному освоению. При этом только одно из предприятий отрасли («ФосАгро-Череповец»), внедрив у себя опробованную ими технологию, могло бы в течение года дать производителям магнитов 250 т/г Nd_2O_3 и 20 т/г Dy_2O_3 , которые в настоящее время вынужденно импортируются. Немногим лучше обстоят дела и с огромными залежами фосфогипса, обсуждаемый объем извлечения редких земель — 500 т/г. Вместо этого переработчики продвигают идею массового использования ФГ в качестве мелиоранта, что также приводит к их безвозвратным потерям.

Список источников

1. <https://news.metal.com/newscontent/103217121/Major-Rare-Earth-Projects-to-Be-Built-in-Brazil> [Электронный ресурс] (дата обращения: 25.03.2025).
2. Rare Earth Magnet Market Outlook to 2040. URL: <https://www.adamasintel.com/rare-earth-magnet-market-outlook-to-2040/>.
3. Нечаев А. В., Поляков Е. Г. О концепции развития отечественной сырьевой базы РЗМ // Минеральные ресурсы России. Экономика и менеджмент. 2025. № 2. С. 48–57.
4. Сибилев А. С., Шестков С. В., Нечаев А. В. и др. Процесс извлечения РЗЭ из экстракционной фосфорной кислоты на ОАО «ФосАгро-Череповец» // Химическая технология. 2015. Т. 16, № 4. С. 201–205.
5. Гурьев А. А. Устойчивое развитие рудно-сырьевой базы и обогатительных мощностей АО «Апатит» на основе лучших инженерных решений // Записки Горного института. 2017. Т. 228. С. 662–673.
6. <https://cdn.phosagro.ru/upload/iblock/27b/368jgggiatuugmihw40hy2ji2j6w3y5xf.pdf> [Электронный ресурс] (дата обращения: 15.05.2025).
7. <https://www.acron.ru/investors/for-analytics/analytis-info/> [Электронный ресурс] (дата обращения: 15.05.2025).
8. Нечаев А. В., Поляков Е. Г. Потенциал и реалии редкоземельного сырья Кольского полуострова // Труды КНЦ РАН. Химические технологии, науки о материалах, металлургия. 2023. № 1 (14). С. 64–68.

References

1. <https://news.metal.com/newscontent/103217121/Major-Rare-Earth-Projects-to-Be-Built-in-Brazil> (accessed 25.03.2025).
2. Rare Earth Magnet Market Outlook to 2040. Available at: <https://www.adamasintel.com/rare-earth-magnet-market-outlook-to-2040/>.
3. Nechaev A. V., Polyakov E. G. O kontseptsii razvitiya otechestvennoy syrovoy baza RZM [On the concept of development of the domestic raw material base of rare earth metals]. *Mineral Resources of Russia. Economics and Management*, 2025, no. 2, pp. 48–57. (In Russ.).
4. Sibilev A. S., Shestkov S. V., Nechaev A. V., et al. Protsess izvletcheniya RZE iz ekstraktionnoy fosfornoy kisloty na ОАО “FosAgro-Cherepovets” [Process of REE Extraction from Extraction Phosphoric Acid at PhosAgro-Cherepovets OJSC]. *Chemical Technology*, 2015, vol. 16, No 4, pp. 201–205. (In Russ.).
5. Guryev A. A. Ustoytchivoe razvitie rudno-syr’evoy bazy i obogatitel’nykh moshnostey AO “Apatit” na osnove lutchshikh inzhenernykh resheniy [Sustainable Development of the Ore and Raw Material Base and Processing Capacities of Apatit JSC on the Basis of the Best Engineering Solutions]. *Zapiski Gornogo insituta*, 2017, vol. 228, pp. 662–673. (In Russ.).
6. <https://cdn.phosagro.ru/upload/iblock/27b/368jgggiatuugmihw40hy2ji2j6w3y5xf.pdf> (accessed 15.05.2025).
7. <https://www.acron.ru/investors/for-analytics/analytis-info/> (accessed 15.05.2025).

8. Nechaev A. V., Polyakov E. G. Potentsial i realii redkozemel'nogo syr'ya Kol'skogo poluostrova [Potential and realities of rare earth raw materials of the Kola Peninsula]. *Proceedings of KSC RAS Chemical technologies, materials sciences, metallurgy*, 2023, no. 1 (14), pp. 64–68. (In Russ.).

Информация об авторах

А. В. Нечаев — кандидат технических наук, генеральный директор;

Е. Г. Поляков — доктор химических наук, профессор, советник по науке.

Information about the authors

A. V. Nechaev — PhD. (Techn.), General Director;

E. G. Polyakov — Prof., DSc (Chem.), Sci. Advisor.

Статья поступила в редакцию 30.06.2025; одобрена после рецензирования 21.07.2025; принята к публикации 11.08.2025.

The article was submitted 30.06.2025; approved after reviewing 21.07.2025; accepted for publication 11.08.2025.