

Научная статья
УДК 669.85/86.
doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.011

ПОТЕНЦИАЛ И РЕАЛИИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОГО СЫРЬЯ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Андрей Валерьевич Нечаев¹, Евгений Георгиевич Поляков²

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

²ev-polyakov@mail.ru

Аннотация

Рассмотрены рост объемов и изменение структуры потребления редкоземельной продукции в мире и РФ. Показан определяющий вклад «магнитных» редкоземельных элементов (РЗЭ) (Pr, Nd и Dy) в текущий и перспективный рост потребления. Рассмотрены планируемые и альтернативные варианты наращивания производства редкоземельных металлов (РЗМ) в России. Проанализирована природа и объемы безвозвратных потерь редких земель из апатита хибинских месторождений, причины неиспользования другого редкоземельного сырья Кольского полуострова.

Ключевые слова

РЗЭ, объёмы и структура потребления, лопарит, апатит, эвдиалит, потери при переработке

Для цитирования:

Нечаев А. В., Поляков Е. Г. Потенциал и реалии редкоземельного сырья Кольского полуострова // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2023. Т. 14, № 1 С. 64–68. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.011

Original article

POTENTIAL AND REALITY OF REE OF KOLA PENINSULA

Andrey V. Nechaev¹, Eugeny G. Polyakov²

^{1, 2}«GK «Rusredmet», Saint Petersburg, Russia

²ev-polyakov@mail.ru

Abstract

An overview of the global and domestic REE production in last decade as well as analysis of changes of the structure of its consumption were done. It was shown that leading role of NdFeB alloy and magnet rare earth oxide is responsible for the current and future growth of markets. In light of planned increasing of domestic REE production alternative mineral and technogenic sources were considered. Nature of retrievable and partially irretrievable losses of REE at processing of apatite was discussed.

Keywords:

REE, volume and structure of consumption, loparite, apatite, eudialyte, losses at processing

For citation:

Nechaev F. M., Polyakov E. G. Potential and reality of REE of Kola Peninsula // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2023. Vol. 14, No. 1. P. 64–68. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.011

Потребление редкоземельной продукции в мире неуклонно растёт. В конце первой декады текущего века оно составляло в пересчёте на оксиды 120–125 тыс. т/г. За период с 2015 по 2021 гг. цифры выросли более чем вдвое, достигнув 280 тыс. т/г. Самостоятельный интерес представляет анализ структуры потребления редких земель, отражающий тенденции развития отдельных отраслей промышленности. Если в мире в 2010 г. примерно в равных долях, около 20%, редкие земли распределялись между производителями всех типов катализаторов, стекольным производством, металлургами и производителями магнитов, то через пять лет при практически сохранившихся долях в катализаторах и магнитах выросло потребление в производстве и обработке стекла и заметно упало в металлургии.

После 2015 г. при сохранившейся доле в производстве катализаторов для автомобилестроения и нефтепереработки, а также в металлургии, сократилось потребление редкоземельных оксидов (РЗО) в стекольной промышленности и стало быстро нарастать потребление Pr, Nd, Tb и Dy в производстве магнитных материалов. Если в 2015 г. они составляли в сумме 21 % по объёму, в 2019 г. — 38 % по объёму и 91 % по стоимости, то увеличение всего за один год сделало их долю ещё более заметной — соответственно 42 и 93 %, то есть наблюдается двукратный рост объёма потребления за последние шесть лет. Главные сферы использования редкоземельных магнитов — генераторы электроэнергии

и электродвигатели самого широкого спектра применения, от микромоторов до мощных тяговых двигателей. При этом постоянные магниты, используемые в разных типах электродвигателей, включая электромобили, имеют состав, близкий к 31 % Nd — 4,5 % Dy — 2 % Co — 61,5 % Fe — 1 % В (мас. %).

В основе явления лежит общее изменение взгляда на мировую энергетику, появление так называемой «зелёной повестки» и обязательств, возникающих у стран — подписантов Парижского соглашения. И хотя вызванный этим ажиотаж носит во многом явно спекулятивный характер, невозможно отрицать и существование рационального зерна в проблеме производства и потребления энергии. Наблюдаемое резкое увеличение производства постоянных магнитов на основе РЗМ способствует решению трёх задач одновременно: электротранспорт делает городской воздух чище, ветрогенераторы увеличивают долю возобновляемой энергии, электродвигатели с постоянными магнитами снижают энергопотребление, будучи на 15 % более эффективными в сравнении с традиционными.

Существующая сбалансированность мирового рынка РЗЭ по определяющему производству магнитов неодиму вызывает перепроизводство лантана и особенно церия, преобладающих в большинстве видов добываемого сегодня сырья. Дальнейшее развитие событий видится следующим образом [1]: 1) рынок «магнитных» РЗМ утроится к 2035 г., в предположении среднегодового роста потребления в 8,3 % ожидается темп роста цен в тот же период в интервале 3,2–3,7 %; 2) годовой дефицит NdFeB магнитов в 2035 г. ожидается в размере 206 000 т; 3) дефицит оксидов Nd и Pr на рынке в 2035 г. ожидается в размере 68 000 т, диспрозий уже дефицитен, при этом растут объёмы неиспользуемого лантана и особенно церия.

В отличие от общемировой, структура потребления РЗЭ в нашей стране более архаична. Сравнение нынешнего распределения по секторам потребления с распределением в период 2010–2015 гг. показывает достаточно устойчивый его характер. Основные потребители десять лет назад — производство катализаторов, стекла и металлургия в сумме составляли 92 %. В настоящее время на них приходится 87 %. Не изменился и общий объём потребления — около одной тысячи тонн, иногда несколько больше, но не выше 1500 т/г, хотя государственной программой «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» (2013 г.) предусматривалось создание в РФ к 2020 г. полного цикла производства индивидуальных соединений, металлов и их сплавов с выпуском около 20 тыс. т/г редкоземельной продукции согласно базовому сценарию. Нынешние обстоятельства диктуют необходимость выхода из сложившейся ситуации, и на преодоления нашей задержки с развитием высокотехнологичных отраслей промышленности направлен целый ряд программ.

Согласно актуализированной версии дорожной карты развития высокотехнологичной области «Технологии новых материалов и веществ» в части продуктового направления «Редкие и редкоземельные материалы», в 2023–2025 гг. в РФ должно быть произведено 2 660 т РЗО, в 2030 г. — 7 340,2 т. До конца нынешнего десятилетия дорожная карта предполагает удовлетворение наших амбиций за счёт создания новых производств на базе многолетних отходов фосфогипса (ФГ) и продукции действующего производства по переработке лопаритового концентрата Ловозёрского ГОКа. При её реализации ожидаемые нужды производителей катализаторов и керамики, стекольной и металлургической промышленности, наряду с атомной энергетикой, будут удовлетворяться за счёт отечественного сырья уже начиная с 2026 г. Также, если производителей магнитов устроит предлагаемая сырьевиками пропорция Pr : Nd = 2 : 7, будут получены необходимые им для выполнения собственных программ 900 т оксида дидима. Что касается Dy (Tb), то требуемая цифра 100 т не достигается не только в период 2026–2028 гг., но и в 2029 г., дефицит составляет более половины требуемого количества. Поскольку тербий и диспрозий в составе магнитных сплавов существенно расширяют температурный диапазон эксплуатации оборудования, их роль становится критической для широкого ряда общегражданских и военных применений.

Кольский полуостров имеет в своих недрах более 50 % балансовых запасов редких земель страны, составляющих около 32 млн т по сумме оксидов. Чуть меньше половины этих объёмов приходится на Ловозёрское месторождение лопарита, остальное — на апатит-нефелиновые месторождения Хибин. Кроме того, Государственным балансом не учитываются огромные запасы РЗМ, сосредоточенные в других месторождениях и рудопрооявлениях Кольского полуострова, — эвдиалитовом Ловозера, перовскитовом Африканды, пегматитах и сиенитах Западных Кейв. Вероятно, было бы правильно рассмотреть всё многообразие кольского редкоземельного сырья и его производных, находящихся уже за пределами Кольского полуострова, в свете устойчивой тенденции настоящего времени

и надёжно прогнозируемого будущего, то есть быстро растущего производства магнитных материалов с использованием Pr, Nd, Tb и Dy. Для оценки того или иного источника с точки зрения его предпочтительности в производстве магнитных материалов введём фактор соответствия, условно назовём его «магнитным» коэффициентом соответствия и выразим через отношение концентраций $K_m = [Dy + Tb] / [Nd + Pr]$. У упоминавшегося выше состава — 31 % Nd (Pr) — 4,5 % Dy (Tb) — 2 % Co — 61,5 % Fe — 1 % В (мас. %) — его величина составляет 0,145 (около 1 : 7), к чему и нужно стремиться (таблица). Как нетрудно увидеть, наиболее близки к ожидаемому значению производные хибинского апатита, прежде всего экстракционная фосфорная кислота. Интересна также комбинация двух видов ловозёрского сырья — лопарита и эвдиалита. Таблица также позволяет оценить объёмы лантана и церия, производимых на единицу неодима или диспрозия из данного вида сырья.

Состав РЗО в отдельных источниках сырья, отн. %

	La	Ce	Pr	Nd	Tb	Dy	K_m
Лопарит	28,4	49,5	3,4	15,5	0,05	0,03	0,004
ФГ отвалный (Воскресенск)	30,8	43,7	3,8	13,8	0,06	0,73	0,045
ФГ текущий (Воскресенск)	26,3	44,5	4,3	15,4	0,21	0,74	0,048
ЭФК (Череповец)	14,1	26,7	3,9	24,8	0,35	2,3	0,092
АФК (Великий Новгород)	23,5	40,5	4,6	22,0	0,20	0,65	0,032
Эвдиалит	11,5	28,5	3,6	14,5	0,90	4,2	0,282
Перовскит	22,4	49,3	5,3	16,6	0,10	0,4	0,023

Примечание. ЭФК — экстракционная фосфорная кислота; АФК — азотно-фосфорнокислый раствор.

Апатитовый концентрат перерабатывается в удобрения двумя методами — азотнокислотным и сернокислотным (более 80 % общего количества). В случае сернокислотного вскрытия (дигидратный и полугидратный процессы) содержащиеся в нём РЗЭ распределяются между двумя продуктами — ФГ и экстракционной фосфорной кислотой (ЭФК). При азотнокислотном способе они концентрируются в азотно-фосфорнокислом растворе (АФК). По данным годовых отчётов компаний «ФосАгро» и «СЗФК», добывающих и перерабатывающих весь апатит хибинских месторождений, составлена карта движения по технологической цепи содержащихся в апатитовом концентрате редких земель (рис. 1). В 2021 г. выпуск апатитового концентрата в «ФосАгро» составил 10 675,5 тыс. т [2], в «СЗФК» — 1 255 тыс. т [3].

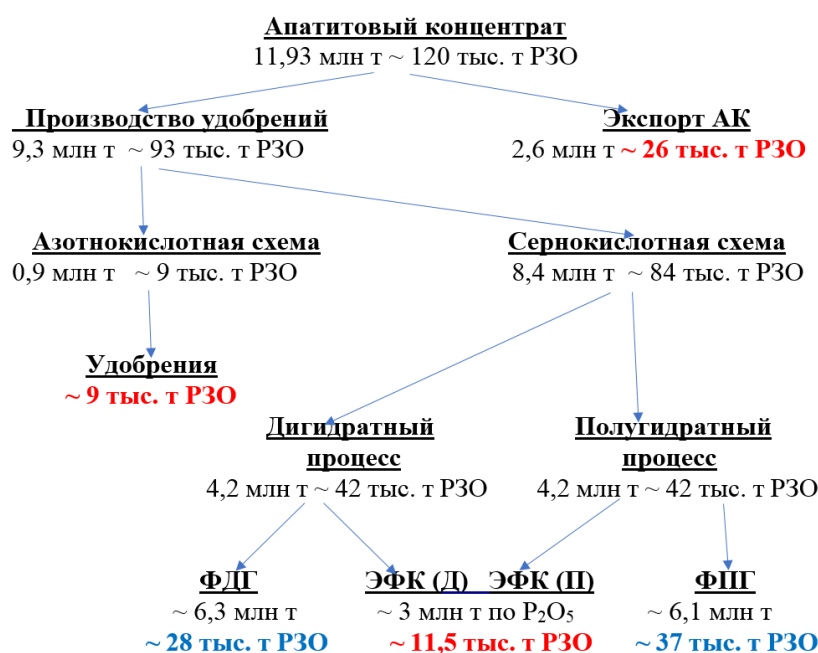


Рис. 1. Карта движения по технологическим схемам редких земель, содержащихся в апатитовом концентрате

Как видно из рис. 1, все списанные с Госбаланса в 2021 г. 120 тыс. т РЗО, а это 43 % общемирового потребления, можно отнести к частично возвратным (ФГ) и безвозвратным потерям. Около половины из содержащихся в фосфогипсе РЗО со временем может быть возвращено в хозяйственный оборот. Правда, нужно учитывать, что к настоящему времени этих отходов накоплено более 250 млн т, а ежегодное пополнение составляет 12–13 млн т, при том что планируемые в будущем объёмы переработки могут достигнуть всего 2 млн т/г. Остальные 46 тыс. т/г РЗО — 26 тыс. т в виде скрытого экспорта с апатитовым концентратом, 9 тыс. т в азотнокислотном и 11,5 тыс. т в обоих сернокислотных процессах теряются уже безвозвратно в составе удобрений, рассеиваясь по полям.

Наиболее «болезненной» потерей представляются редкие земли в ЭФК дигидратного процесса, поскольку их состав наиболее обогащён ценными и дефицитными элементами иттриевой группы и обеднён избыточными на рынке лантаном и церием (рис. 2).

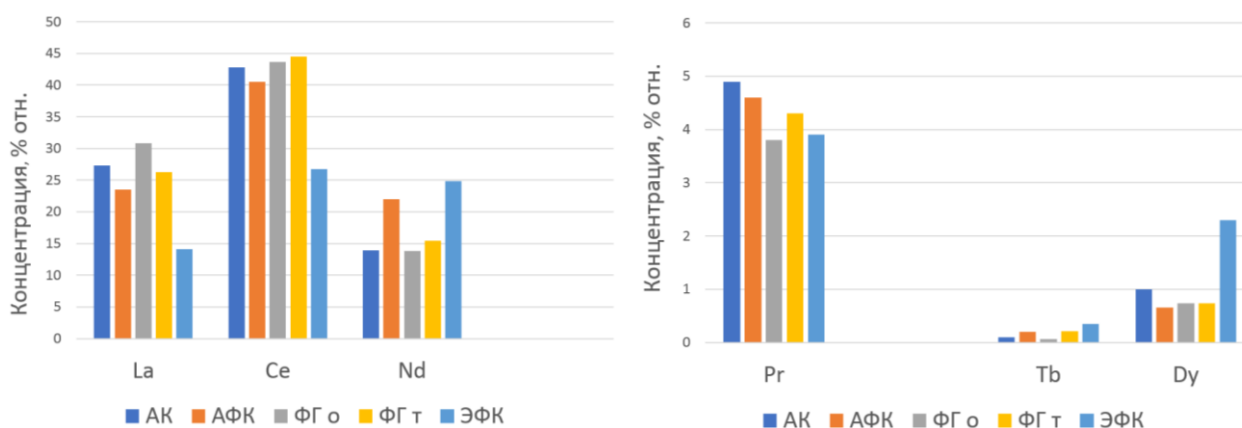


Рис. 2. Распределение отдельных РЗЭ между продуктами переработки апатитового концентрата (АК): азотно-фосфорнокислым раствором (АФК, Великий Новгород), фосфогипсом отвальным (ФГ о, Воскресенск), фосфогипсом текущим (ФГ т, Воскресенск) и экстракционной фосфорной кислотой дигидратного процесса (ЭФК, Череповец). Слева — La, Ce, Nd; справа — Pr, Tb, Dy

Кроме этого, они уже находятся в растворе, что исключает операцию выщелачивания с доставкой и использованием реагентов и образованием отходов. После извлечения РЗЭ экстракционная фосфорная кислота возвращается в технологический процесс производства удобрений.

Решению проблемы дефицита тербия и диспрозия может помочь не только использование производных апатита, но и организация переработки эвдиалита, удачно дополняющего своими иттриевыми РЗЭ основной сегодня источник редких земель в стране — лопарит. Разведанные, но не утвержденные в ГКЗ запасы эвдиалитового сырья в пределах участка Аллуйв оценены более чем в 80 млн т при бортовом содержании 2,5 % диоксида циркония, в то время как общие их ресурсы в горном массиве оцениваются в 80 млрд т. Запасы руды категорий $C_1 + C_2$ только на наиболее богатом участке, представляющем интерес для первоочередного освоения, составляют более 50 млн т. Расположение месторождения практически на поверхности Ловозёрского горного массива, в непосредственной близости от месторождения лопарита, в обжитом районе с развитой инфраструктурой даёт ему огромные преимущества в сравнении с существующими альтернативами. Практически неограниченные запасы, созданная и апробированная в ГоИ КНЦ РАН технология обогащения с получением эвдиалитового и богатого лопаритового концентратов делают его привлекательным для Чепецкого механического завода, уже разработавшего гидрометаллургическую схему переработки эвдиалита и заинтересованного в надёжном источнике как редких земель, так и циркония, ниобия и тантала. Достоинства совместной переработки лопарита и эвдиалита на предприятии рассмотрены в работе [4], где показана реальная возможность закрытия потребностей пяти производственных линеек предприятия за счёт сырья ловозёрских месторождений. Продвижению эвдиалитового проекта препятствует незавершённость разведочной стадии геолого-разведочных работ с постановкой на Государственный баланс запасов.

Список источников

1. Rare Earth Magnet Market Outlook to 2035. Adamas Intelligence. Apr. 20, 2022. 229 p.
2. Наука устойчивого плодородия. Интегрированный отчет 2021. Фосагро [Электронный ресурс]. URL: <https://cdn.phosagro.ru/upload/iblock/dc9/dc9ee42f1af7716f4ce9cebfbde271755.pdf> (дата обращения: 10.02.2023).
3. <https://www.acron.ru/investors/for-analytics/analytics-info/> (дата обращения: 10.02.2023).
4. Нечаев А. В., Поляков Е. Г., Кардаполов А. В., Копарулина Е. С. Перспективы развития металлургии на Чепецком механическом заводе // Металлург. 2021. № 6. С. 74–80.

References

1. Rare Earth Magnet Market Outlook to 2035. Adamas Intelligence. Apr. 20, 2022, 229 p.
2. *Nauka ustoychivogo plodorodiya. Integrirovannyi otchet 2021. Fosagro*. [Science of sustainable fertility. Integrated report 2021. Phosagro. Available at: <https://cdn.phosagro.ru/upload/iblock/dc9/dc9ee42f1af7716f4ce9cebfbde271755.pdf>.
3. <https://www.acron.ru/investors/for-analytics/analytics-info/>.
4. Nechaev A. V., Polyakov E. G., Kardapolov A. V, Koparulina E. S. Perspektivy razvitiya metallurgii na Chepeckom mekhanicheskom zavode [Prospects of metallurgy development in Chepetsky Mechanical Plant]. *Metallurg* [Metallurgist], 2021, No 6, pp. 74–80. (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, General Director;

E. G. Polyakov — Dr. Sci., Professor, Sci. Advisor.

Статья поступила в редакцию 30.01.2023; одобрена после рецензирования 31.01.2023; принята к публикации 01.02.2023.
The article was submitted 30.01.2023; approved after reviewing 31.01.2023; accepted for publication 01.02.2023.