

РАЗВИТИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ – ПРОБЛЕМА ВНУТРЕННЕГО СПРОСА

В.А. Яценко*

*Институт экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения РАН,
630090, Новосибирск, Российская Федерация*

**E-mail: yva@ieie.nsc.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы развития редкоземельной промышленности России с точки зрения взаимосвязи производства сырья и его потребления на внутреннем рынке. Обладая значительной редкоземельной минерально-сырьевой базой, Россия экспортирует полупродукты низких переделов, а высокотехнологичные товары с высокой добавленной стоимостью, для производства которых необходимы редкоземельные металлы, импортирует. Ключевая проблема отрасли – низкий внутренний спрос на данный вид сырья. Глобальный переход к возобновляемым источникам энергии, включая использование ветроэлектростанций, электрических и гибридных автомобилей, должен был создать новые возможности для развития российской редкоземельной промышленности. Однако безграничный доступ на внутренний рынок зарубежных производителей, либеральный подход к локализации технологий и высокая конкуренция со стороны Китая лишают стимулов к формированию в стране цепочек производства высокотехнологичной продукции полного цикла.

Ключевые слова: редкоземельные металлы, постоянные неодимовые магниты, производство полного цикла, ветроэнергетика, автомобильная промышленность, локализация производства

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по проекту “Экспертно-аналитические, организационные и методические составляющие системы индикативного планирования научно-технологического и сбалансированного пространственного развития России при реализации крупных инвестиционных проектов” (шифр FWZF-2024-0001).

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Ссылка для цитирования: Яценко В.А. Развитие редкоземельной промышленности России – проблема внутреннего спроса. *Вестник РАН / Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2026. Том 96. № 6. С. 533–546. <https://doi.org/10.7868/S3034520026060059>

Поступила в редакцию 10.09.2025

После доработки 17.11.2025

Принята к публикации 20.03.2026



ЯЦЕНКО Виктор Анатольевич – кандидат экономических наук, старший научный сотрудник Института экономики и организации промышленного производства СО РАН, Новосибирск, Российская Федерация, e-mail: yva@ieie.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9129-2090>.

DEVELOPMENT OF THE RARE EARTH INDUSTRY IN RUSSIA – THE PROBLEM OF DOMESTIC DEMAND

V.A. Yatsenko*

*Institute of Economics and Industrial Engineering, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
630090, Novosibirsk, Russian Federation*

**E-mail: yva@ieie.nsc.ru*

Abstract. The article discusses the issues of development of rare earth industry in Russia from the standpoint of relationships between raw materials production and consumption in the domestic market. Possessing a significant rare earth mineral resource base, Russia exports semi-finished products of low processing stages, while importing high-tech products with added value, for the production of which rare earth metals are required. The key problem of the Russian rare earth industry is the low domestic demand for this type of commodity. The global transition to renewable energy sources, including wind power plants, hybrid and electric vehicles, was supposed to create new opportunities for the development of the Russian rare earth industry. However, unlimited access to the domestic market for foreign manufacturers, a liberal approach to technology localization, and high competition from China deprive the country of incentives to form full-cycle production chains for high-tech products.

Keywords: rare earth metals, permanent neodymium magnets, full-cycle production, wind energy, automotive industry, localization of production

Funding. This research was conducted as part of the state assignment from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, for the project “Expert-analytical, organizational, and methodological components of the system of indicative planning for Russia’s scientific, technological, and balanced spatial development in the implementation of large investment projects” (cipher FWZF-2024-0001).

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

For Citation: Yatsenko V.A. Development of the rare earth industry in Russia – the problem of domestic demand. *Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk / Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2026, vol. 96, no. 6, pp. 533–546. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S3034520026060059>

Received September 10, 2025

Revised November 17, 2025

Accepted March 20, 2026

Рынок редкоземельных металлов¹ (РЗМ) — один из самых молодых товарных рынков, который появился только в середине XX в. Первое промышленное применение РЗМ началось в 1960-х годах с европия в люминофорах цветных телевизионных экранов. Позже их начали широко использовать в металлургии, нефтяной и полупроводниковой промышленности, и уже к 1995 г. мировое производство РЗМ достигло 80 тыс. т.² Благодаря развитию микроэлектроники, автомобильной промышленности, глобальной возобновляемой энергетики, робототехники и производства роботизированного оборудования этот показатель по итогам 2025 г. составит, вероятно, более 300 тыс. т [3].

Сегодня главная движущая сила в редкоземельной промышленности — переход глобальной энергетической системы к “зелёной” энергетике в рамках Парижского соглашения об изменении климата, принятого Организацией Объединённых Наций в конце 2015 г. Главной целью соглашения стало удержание прироста глобальной средней температуры в пределах 1.5–2°C сверх доиндустриального уровня, что побудило многие страны и компании существенно сократить выбросы парниковых газов за счёт ввода новых технологий производства тепло- и электроэнергии. Частью этого перехода стала и автомобильная промышленность, глобальная конкуренция в которой стимулировала предприятия развивать новые технологии для полностью электрических и гибридных автомобилей.

Появление этих технологий меняет структуру потребления минерально-сырьевых ресурсов (особенно редкоземельных), поскольку именно постоянные магниты на основе РЗМ — ключ перехода к новым типам генерации энергии. Они используются в электрических машинах ветрогенераторов, в электромобилях и гибридах, производство которых ежегодно увеличивается. Поэтому растущий интерес в мире к возобновляемым источникам энергии и активному развитию автомобильной отрасли должен был создать импульс для российской редкоземельной отрасли и дать шанс для перехода отечественной промышленности на новый технологический уклад. Однако свободный доступ зарубежных производителей на внутренний рынок, либеральный подход к локализации технологий и вы-

сокая конкуренция со стороны Китая лишают стимулов к формированию цепочек производства товаров полного цикла, при том что независимость в этой сфере — наиважнейший для безопасности нашей страны вопрос.

Россия располагает богатыми ресурсами редкоземельных металлов, сравнимыми с ресурсами других доминирующих стран. Но скромный спрос на это сырьё со стороны российской промышленности не даёт стимулов к развитию отрасли. Сегодня на экспорт направляются продукты низких переделов, при этом высокотехнологичная продукция, содержащая РЗМ, в основном импортируется. В результате существенная доля добавленной стоимости формируется за пределами России, а отечественный редкоземельный потенциал используется не в полной мере.

ФОРМИРОВАНИЕ И ДИНАМИКА СПРОСА НА РЗМ

РЗМ используют в высокотехнологичной продукции в виде смешанных (природных) соединений или в виде оксидов и индивидуальных металлов (рис. 1). Они могут также применяться как вспомогательные элементы в производственном процессе, но в конечном продукте они в таком случае не содержатся. Например, лёгкие РЗМ входят в состав полировальных порошков в стекольной и электронной промышленности, используются в катализаторах каталитического крекинга нефти и в других химических процессах. РЗМ применяют как легирующие добавки, значительно улучшающие характеристики конечной продукции, например, для производства постоянных магнитов, люминофоров, специализированных сплавов, оптики, керамики и других материалов, в катализаторах для очистки выхлопных газов автомобилей [2, 4, 5].

С ростом объёма производства высокотехнологичных товаров глобальный спрос на РЗМ постоянно растёт. Более того, с появлением прорывных технологий меняется структура потребления разных элементов из группы, вследствие чего в редкоземельной промышленности можно выделить временные этапы, когда доминируют определённые технологии (или технология) и, соответственно, образуется единообразная структура потребления РЗМ. Например, первое применение РЗМ относится к концу XIX в., когда газонакалильные сетки для осветительных газовых и керосиновых фонарей изготавливали из ThO_2 с добавкой 1% оксида церия³. Однако первое их промышленное применение началось в 1960-х годах с европия в качестве активного компонента красных и синих люминофоров в цветных телевизионных экранах (красный — сначала

¹ Редкоземельные элементы (РЗЭ), или редкоземельные металлы (РЗМ), представляют собой группу из 15 лантаноидов (лантан, церий, празеодим, неодим, прометий, самарий, европий, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций), а также иттрий, иногда скандий. РЗМ разделяют на три группы по их атомному весу: лёгкие (La, Ce, Pr, Nd), средние (Sm, Eu, Gd) и тяжёлые (Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y) (в западной литературе их часто делят на две группы: лёгкие и тяжёлые). С учётом конфигурации электронов в атомах, РЗМ делят на цериевую (La, Ce, Pr, Nd) и иттриевую группы (Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y) [1]. В зарубежной литературе можно встретить следующие сокращения: REE — Rare Earth Elements, REM — Rare Earth Metals, RE — Rare Earths, TR — terrae raree (латынь), LREE — light REE, HREE — heavy REE, TREO — Total Rare Earth Oxides [2].

² Здесь и далее цифры приведены в пересчёте на оксиды РЗМ (TREO).

³ Карл Ауэр фон Вельсбах в 1885 г. открыл яркое свечение при высоких температурах оксидов церия и других редкоземельных элементов и доказал, что дидим — это смесь неодима и празеодима. Он также изобрёл искусственный кремний для зажигалок, состоящий из мышьяка и цериево-железного сплава, а в 1900 г. основал большую химическую лабораторию на металлургическом заводе в г. Трайбах (Австрия), на основе которого возникла компания Treibacher Industrie AG.

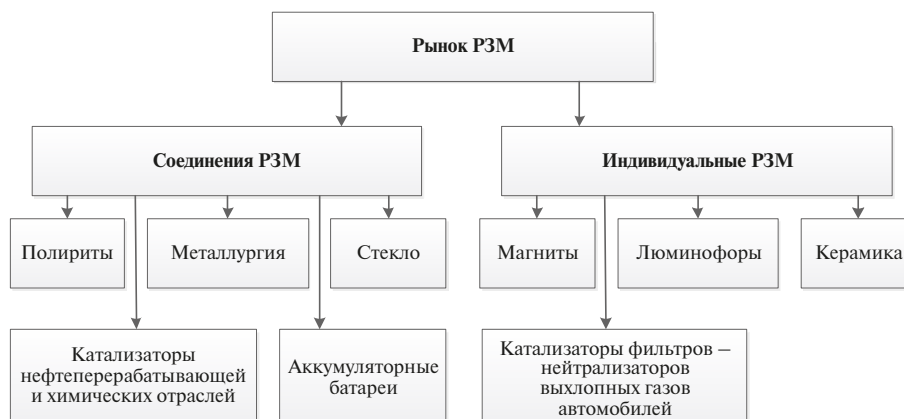


Рис. 1. Области применения РЗМ и соединений с ними

Fig. 1. Applications of rare earth metals and their compounds

ла $\text{YVO}_4:\text{Eu}^{3+}$, позже $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Eu}^{3+}$, $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ и синий – $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ [6] после принятия Национальным комитетом по телевизионным стандартам США⁴ новой технологии аналогового цветного телевидения компании Radio Corporation of America (RCA). Эта технология в результате стала единым вещательным стандартом. Позже началась эра самария, когда на смену ферритовым пришли самарий-кобальтовые постоянные магниты (первое поколение – SmCo_5 , второе – $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$)⁵. Сегодня доля рынка таких магнитов составляет менее 2%, поскольку они в значительной степени ограничены применением в средах, требующих высоких или низких температур и коррозионной стойкости.

В 1980-х годах корпорации General Motors (США) и Sumitomo Special Metals (Япония) независимо друг от друга открыли соединение неодим-железобор ($\text{Nd}_2\text{-Fe}_{14}\text{-B}$), магнитная индукция которого превышает 1.4 Тесла⁶. Благодаря этому свойству неодимовый магнит может поднять массу, в 1300 раз больше его собственной [8]. В результате сегодня доля рынка постоянных неодимовых магнитов составляет около 95%, и они расширяют технологическое присутствие в различной продукции, особенно в электронике, автомобильной промышленности и ветроэнергетике. Поскольку электрические машины, изготовленные на основе неодимовых магнитов, значительно меньше и легче, это ведёт к более эффективному энергопотреблению.

Стоит отметить, что неодимовые магниты защищают от коррозии в различных условиях эксплуатации с помощью защитных покрытий (например, из никеля, цинка, олова, золота или эпоксидной смолы). Чистое соединение Nd-Fe-B начинает терять свою магнитную силу уже при нагреве чуть выше 80°C. Поэтому в него

добавляют до 5% диспрозия (реже тербий), который заметно увеличивает предел рабочей температуры: существуют неодимовые магниты, используемые при температурах около 200°C [8, 9].

Эпоха европия и самария продлилась 10–20 лет, а эпоха неодима и диспрозия продолжается уже более 30 лет и неизвестно, сколько она ещё продлится. Основной сферой применения РЗМ, помимо магнитных материалов, в настоящее время стало производство различных металлов и сплавов, катализаторов, полирующих порошков (рис. 2).

Как видим, в России структура потребления РЗМ сильно отличается от мировой. Сказывается промышленное наследие СССР: в настоящее время редкоземельная промышленность страны – это узкоотраслевой производитель катализаторов для нефтепереработки, химической промышленности (используются в основном РЗМ из лёгкой группы – La, Ce, Pr, Nd), военной техники (для её изготовления необходимы специальные сплавы, часто легированные мишметаллом из РЗМ, в том числе сталь) и оптики (для производства которой нужны полировальные порошки на основе лёгкой группы РЗМ – La, Ce, Pr).

Другая особенность редкоземельной промышленности страны заключается в том, что все предприятия потребляют небольшой объём соединений, оксидов и чистых РЗМ (с многочисленными требованиями к качеству продукции): он может составлять от нескольких десятков тонн до всего лишь нескольких килограммов в год. В итоге потребление редкоземельной продукции в России за последние десятилетия, по разным оценкам, составляет не более 3 тыс. т в год [10, 11].

Рисунок 2 демонстрирует, что промышленность, связанная с применением магнитных материалов, в России развита слабо. В стране немногим больше десяти промышленных предприятий, обладающих компетенциями и различного масштаба производственными линиями для изготовления постоянных магнитов на основе РЗМ [10]. К сожалению, многие предприятия полностью остановили своё производство и в лучшем случае перешли на обработку зарубежных полуфабри-

⁴ National Television System Committee (NTSC).

⁵ Они были разработаны в начале 1960–1970-х годов на основе работ Карла Стрната и Олдена Рэя в Дейтонском университете и в лаборатории материалов на авиабазе Райт-Паттерсон (США) [7].

⁶ Для сравнения: ферриты – 0.5 Тесла, альнико – 0.7 Тесла, а самарий-кобальтовые магниты – 1 Тесла.

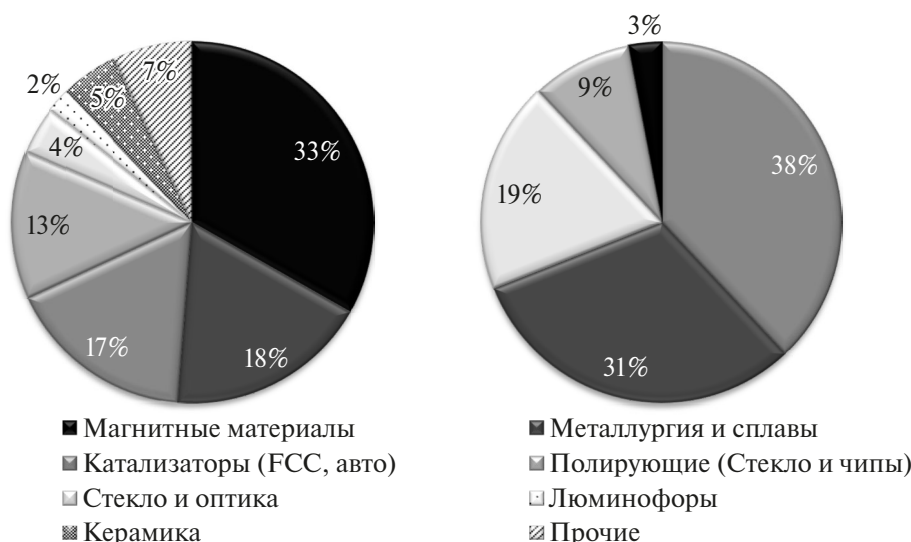


Рис. 2. Структура потребления РЗМ в 2023–2024 гг., в мире (слева) и в России (справа), %
Fig. 2. Structure of rare earth metals consumption in 2023–2024, global (left) and in Russia (right), %

катов (окончательная термообработка, формовка, обработка поверхности и намагничивание), в худшем — на перепродажу уже обработанных зарубежных магнитов (в основном из Китая). Причём такая ситуация связана не только с полным отсутствием возможности закупить отечественное сырьё для производства постоянных магнитов, но и со сложностями, возникающими с закупкой зарубежного сырья. Например, китайское правительство в 2014 г. внесло 66 типов продукции и сплавов РЗМ в каталог запрещённых к продаже товаров⁷. После вмешательства ВТО были отменены квоты и налоги на экспорт, однако в 2015 г. была введена экспортная лицензия, благодаря которой китайские власти регулируют экспорт определённых РЗМ и сплавов на их основе, в том числе для производства магнитов [12, 13].

В таких условиях возобновить в России выпуск постоянных магнитов на основе РЗМ возможно только в том случае, если получится сформировать полную цепочку от добычи руды до создания высокотехнологичной продукции. При этом важно одновременно наращивать производств не только на последних этапах цепочки (“downstream”), но и в её начале (“upstream”), стабилизируя спрос и предложение.

DOWNSTREAM – ЭТАП ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЯ В КОНЕЧНУЮ ПРОДУКЦИЮ

Сегодня в России сложилась парадоксальная ситуация. Единственное действующее предприятие, на котором добывают редкоземельную руду — ООО “Ловозёрский горно-обогатительный комбинат” (ООО “ЛГОК”, Мурманская область). Он является поставщиком лопаритового концентрата для ОАО “Соликамский магниевый завод” (ОАО “СМЗ”, Пермский край), на котором, в свою очередь, производят только концен-

траты в виде хлоридов и карбонатов РЗМ. Дальнейшее обогащение этих полуфабрикатов в настоящее время в стране не осуществляется — почти 80% готовой продукции ОАО “СМЗ” экспортирует на завод NPM Silmet AS (г. Силламяэ, Эстония), где уже происходит разделение карбонатов на индивидуальные оксиды и чистые РЗМ. При этом с 2011 г. завод принадлежит американской компании “Neo Performance Materials Inc.” (ранее “Molycorp Inc.”, США). Остальную часть продукции ОАО “СМЗ” поставляет азиатским партнёрам [14, 15].

На государственном уровне уже давно пришло понимание критического значения РЗМ для высокотехнологичных отраслей промышленности, в частности для обороноспособности страны. Поэтому согласно Распоряжению Правительства РФ от 30.08.2022 № 2473-р редкоземельные металлы входят в перечень стратегических видов минерального сырья, а Распоряжением Правительства РФ от 16.04.2024 № 939-р они внесены в перечень дефицитных видов твёрдых полезных ископаемых. Однако в сложившихся политических и экономических условиях утверждённые целевые программы и стратегии не дают необходимого эффекта. Поэтому 31 декабря 2022 г. было принято Распоряжение Правительства № 4403-р «О подписании соглашений о намерениях между Правительством РФ и заинтересованными организациями в целях развития высокотехнологичного направления “Технологии новых материалов и веществ”» [16]. А уже 16 января 2023 г. было подписано Соглашение о намерениях между Правительством РФ и государственной корпорацией “Росатом”, в рамках которого сформирована дорожная карта, где одно из основных направлений — производство редкоземельных металлов⁸ [17]. После

⁷ The Catalog of Prohibited Trade Commodities.

⁸ В соглашении речь шла также о производстве композитов, развитии аддитивных технологий и цифрового материаловедения.

запуска дорожной карты на основе Распоряжения Правительства РФ от 3.04.2023 № 809-р и Указа Президента РФ от 26.01.2023 № 38 единственная в странах бывшего СССР действующая цепочка производства редкоземельной продукции ООО “Ловозёрский горно-обоганительный комбинат” — ОАО “Соликамский магниевый завод” была национализирована [18]. Эти предприятия вошли в горнорудный дивизион корпорации — АО “Атомредметзолото” (АО “АРМЗ”) [19].

Чтобы снизить риски и неопределённость относительно будущих поставок концентратов РЗМ на завод “NPM Silmet AS”, ГК “Росатом” в рамках внутреннего контура начала восстанавливать производство продукции с использованием редких и редкоземельных металлов. Так, в настоящее время на площадке ОАО “Соликамский магниевый завод” проектируются производственные мощности по разделению концентрата на индивидуальные оксиды церия, лантана, неодима, празеодима с производительностью 2,5 тыс. т в год, которые планируется ввести в эксплуатацию в 2027 г. Потребителем получаемой продукции должен стать первый в стране крупнотоннажный завод по производству постоянных магнитов на основе редкоземельных металлов ООО “Русатом МеталлТех”, строящийся в г. Глазов (Удмуртская Республика). На АО “Чепецкий механический завод” (“ЧМЗ”) осваивают технологию азотнокислого вскрытия лопаритового и эвдиалитового концентратов, в том числе с Ловозёрского месторождения [10].

Впрочем, основная добыча РЗМ в России (86,2%) ведётся на крупнейшем в мире предприятии по производству апатитового концентрата АО “Апатит” (г. Череповец), входящем в холдинговую компанию ПАО “ФосАгро”. Вторая по уровню добычи РЗМ в России — АО “Северо-Западная фосфорная компания” (АО “СЗФК”), входящая в группу компаний ПАО “Акрон”⁹, обеспечивает 11,5% добычи РЗМ в стране (табл. 1). На обоих предприятиях апатитовый концентрат перерабатывается в удобрения по сернокислотной схеме, при этом РЗМ частично переходят в экстракционную фосфорную кислоту (20%) и в фосфогипс (80%), который складывается. Поэтому извлечение из них РЗМ с последующим разделением рассматривается как перспективное направление [5].

На предприятиях ОАО “ФосАгро-Череповец” и ПАО “Акрон” были разработаны и реализованы опытно-промышленные установки, на которых из технологических потоков производства удобрений извлекались групповые концентраты РЗМ, карбонаты и оксиды церия и неодима. Однако низкие цены на РЗМ привели к отрицательной рентабельности этих опытных производств, поэтому линии остановили и законсервировали (ОАО “ФосАгро” — в 2018 г., ПАО “Акрон” — в 2021 г.) [5, 20].

Как упоминалось выше, фосфогипс — основной побочный продукт производства минеральных удобрений. В настоящее время в отвалах накоплено более 200 млн. т этого вещества, в которых содержится

80–98% гипса и около 1 млн т РЗМ. Ежегодный прирост фосфогипса в отвалах составляет 10–15 млн т. Решением этой задачи занимается компания ООО “Лаборатория инновационных технологий” (ООО “ЛИТ”), которая входит в холдинг ГК “Скайград” (г. Юбилейный, Московская область). Руководство компании планирует создать крупное промышленное производство (предполагаемый объём переработки — до 4 тыс. т в год) группового концентрата РЗМ с получением индивидуальных оксидов лёгкой и среднетяжёлой групп РЗМ в г. Пересвет (Московская область) [21]. АО “Росатом Недра” (до июня 2024 г. АО “АРМЗ”) совместно с АО “ОХК УралХим” также планируют извлекать РЗМ из отвалов фосфогипса с мощностью производства 4 тыс. т в год [10].

Перспективным проектом для развития отечественной промышленности может стать и разработка ниобий-редкоземельного месторождения Томтор в Республике Саха (Якутия) (его руды представляют собой природный концентрат). Первый этап освоения — ввод в эксплуатацию участка Буранный¹⁰ компанией “Три-Арк Майнинг” (табл. 1). Первоначально недропользователь планировал начать разработку участка в 2023 г., а строительство гидрометаллургического комбината в г. Краснокаменск (Забайкальский край) — в 2024 г. [11]. Однако позже в лицензионном соглашении сроки реализации проекта были изменены и начало эксплуатации участка перенесли на конец 2027 г. Осенью 2022 г. в лицензионное соглашение ещё раз внесли изменения — теперь месторождение должно быть введено в эксплуатацию не позднее 1 декабря 2029 г. [10].

Согласно заявленной стратегии освоения участка Буранный недропользователь предполагает выйти на добычу 160 тыс. т сухой руды в год, из которой собирается получать оксид ниобия и коллективный концентрат карбонатов РЗМ в виде давальческого сырья на сторонние предприятия (из действующих предприятий рационально было бы осуществлять поставки на ОАО “СМЗ”, АО “ЧМЗ” или ООО “ЛИТ”). В итоге в рамках томторской цепочки планируется получать конечную товарную продукцию в виде оксидов лантана (3 571 т в год), церия (6 625 т), празеодима (650 т), неодима (1 964 т), а также коллективный концентрат среднетяжёлой группы РЗМ (1 844 т), феррониобий (4 520 т) и концентрат скандия (561 т) [10]. Для этих целей в рамках Восточного экономического форума были заключены кредитные соглашения между ВЭБ, ООО “Восток Инжиниринг”¹¹ (оператор участка Буранный) и ООО “Краснокаменский гидрометаллургический комбинат”¹² (ООО “КГМК”) на сумму 1,5 млрд руб., часть из которых будет направлена на строительство горнодобывающего и перерабатывающего предприятий [21].

Россия располагает одной из крупнейших в мире минерально-сырьевых баз РЗМ. Государственным балансом запасов полезных ископаемых по категориям

⁹ ГК “Акрон” — один из крупнейших мировых производителей минеральных удобрений.

¹⁰ На данный момент выделены ещё два участка — Южный и Северный.

¹¹ ООО “Восток Инжиниринг” и ООО “КГМК” — дочерние предприятия компании “ТриАрк Майнинг”.

A+B+C₁+C₂ на начало 2024 г. учтено 28.5 млн т TREO, что соответствует примерно 22% общемировых запасов, оценку которых ежегодно проводит Геологическая служба США¹² согласно национальным рекомендациям по классификации минерально-сырьевых запасов и ресурсов¹³ [22]. При этом в России действовало 20 лицензий на право пользования участками недр, содержащими РЗМ, из которых 11 — на разведку и добычу РЗМ (см. табл. 1), в том числе в качестве попутного компонента (9 расположены в Арктической зоне РФ) [10].

Как уже упоминалось, только на ООО “ЛГОК” ведётся добыча редкоземельной руды с последующей переработкой концентрата на ОАО “СМЗ”. На предприятиях АО “Апатит” и АО “СЗФК” редкоземельное сырьё при отработке лицензионных месторождений вовсе не извлекается. В результате в 2022 г. из 118.1 тыс. т добытой руды только порядка 2.3% поступило для дальнейшего обогащения (рис. 3). Причина в том, что российская минерально-сырьевая база РЗМ в основном включает месторождения с рудами, суммарное содержание РЗМ в которых, как правило, не превышает 1%.

За последние годы значимый прирост запасов РЗМ категорий A+B+C₁ и C₂ получен в 2018 г. за счёт разведки на месторождениях Томтор в Республике Саха (Якутия) и Чукотское (Красноярский край) (см. рис. 3) [5]. Другие изменения в запасах происходили за счёт переоценки разведанных месторождений, а с учётом добычи и потерь запасы РЗМ из года в год уменьшаются.

В настоящее время основные перспективы расширения сырьевой базы РЗМ связаны с Чукотским рудным полем (Красноярский край), в пределах которого локализовано 83% прогнозных ресурсов P1 страны. В 2020 г. АО “Аркминерал-Ресурс” (дочерняя компания ООО «Сервисная горная компания “Аркминерал”») получило лицензию на геологическое изучение, разведку и добычу перовскит-титаномагнетитовых руд на Центральном участке Африкановского месторождения в Мурманской области (не учитывается Государственным балансом запасов полезных ископаемых), где локализованы прогнозные ресурсы РЗМ категории P2 в количестве 0.35 млн т TREO. Компания ведёт оценку его запасов, в дальнейших планах — организация открытой добычи руды и создание интегрированного химико-металлургического комплекса по производству пигментного диоксида титана, соединений ниобия, тантала и оксидов редкоземельных элементов. Освоение месторождения имеет статус инвестиционного проекта Мурманской области [10].

Как видим, Россия располагает крупной сырьевой базой РЗМ и имеет высокий потенциал для обеспечения своих потребностей в этом стратегическом сырье. Однако добыча РЗМ с последующей перера-

боткой в товарный продукт ведётся в ограниченном количестве и только на одном месторождении. Развитию отечественной редкоземельной промышленности прежде всего препятствуют низкий внутренний спрос и конкуренция на глобальном рынке со стороны доминирующего Китая. Если монополии Поднебесной в текущих условиях преодолеть невозможно, то нарастить внутренний спрос на редкоземельное сырьё за счёт развития высокотехнологичных областей промышленности — задача необходимая и реальная.

UPSTREAM — ЭТАП ДОБЫЧИ РУДЫ И ЕЁ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

Российские предприятия — потребители РЗМ в силу перечисленных причин сегодня вынуждены импортировать соединения, оксиды и чистые РЗМ. Среди этих предприятий — крупнейший в России производитель синтетических цеолитов и адсорбентов “Компания КНТ Групп”, в которую входят ООО “Стерлитамакский завод катализаторов” и ООО “Ишимбайский специализированный химический завод катализаторов”; один из самых крупных производителей специальной оптики холдинг “Швабе” (ГК “Ростех”); ОАО “Первоуральский динасовый завод” — единственный в России, выпускающий динасовые огнеупоры для коксовых, стекловаренных, электросталеплавильных и доменных печей; металлургический завод “Электросталь” — одно из ведущих предприятий по производству сталей и сплавов специального назначения для наукоёмких отраслей промышленности [10].

В настоящее время правительство возлагает большие надежды по восстановлению высокотехнологичных военных и гражданских отраслей промышленности на государственные корпорации “Росатом” и “Ростех”, в структуры которых входят более 1100 предприятий и научных организаций [23]. Создание наукоёмких и передовых технологий внутри контура госкомпаний определённо может дать стимул к развитию редкоземельной промышленности, в частности таких технологий, для которых необходимы постоянные магниты на основе РЗМ. Это прежде всего микроэлектроника и робототехника, которые очень тесно связаны с ГК “Ростех”, новые ветроэлектростанции (ВЭС) и автомобильная промышленность.

К сожалению, за последние 30 лет отечественная микроэлектронная промышленность была отброшена на периферию мирового развития, а робототехника существует лишь в зачаточном состоянии, но производство ветрогенераторов и автомобильная промышленность обладают высоким потенциалом роста и, что самое главное, пользуются спросом на внутреннем рынке. Однако открытый доступ на отечественный рынок зарубежных производителей не позволяет этим отраслям свободно развиваться. И даже когда западные конкуренты уходят, для их развития не всегда есть необходимые условия. А поверхностный подход к локализации технологий (основанный на неоднозначных целевых показателях) не способствует выстраиванию производства полного цикла и, по сути, предполагает лишь сборку из импортных комплектующих [21].

¹² United States Geological Survey (USGS).

¹³ В рамках этих оценок в 2015–2024 гг. российские доказанные запасы по категории “Reserves” находились в диапазоне 3.8–21 млн т, что соответствует 3.5–15% от общемировых запасов [22].

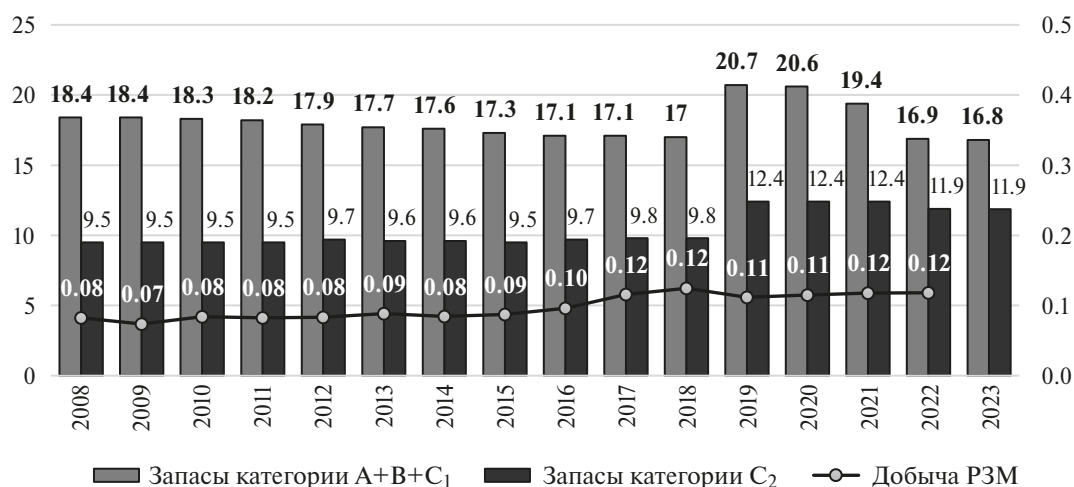


Рис. 3. Динамика запасов и добычи РЗМ в России в 2008–2019 гг. (TREO), млн т

Fig. 3. Dynamics of rare earth metals Reserves and Production in Russia, 2008–2019 (TREO), million tons

Отечественные ВЭС. Одна из основных областей потребления неодимовых магнитов — производство разных типов электрических машин (генераторов) для преобразования кинетической энергии ветра в электрическую. Причём по последним данным Международного энергетического агентства¹⁴, общая установленная ветроэнергетическая мощность в мире в 2010–2023 гг. увеличилась в 5.6 раза — до 1 ТВт. К 2030 г. ожидается, как минимум, удвоение номинальной мощности — до более 2 ТВт, а к 2050 г. — уже более 4 ТВт [24]. Это одна из самых стремительно развивающихся технологий по установленным мощностям и объёму генерируемой энергии в мире. В зависимости от географического расположения и погодных-климатических условий выделяют четыре основные архитектуры ВЭУ, как и топологии электрических машин¹⁵ [25]:

- 1) асинхронный генератор двойного питания с коробкой передач (GB-DFIG),
- 2) синхронный генератор с постоянными магнитами с коробкой передач (GB-PMSG),
- 3) синхронный генератор с постоянными магнитами без коробки передач (DD-PMSG),
- 4) синхронный генератор с электрическим возбуждением (с фазным ротором) без коробки передач (DD-EESG).

На суше в настоящее время доминирует топология GB-DFIG, на долю которой приходится более 70% мирового рынка. При этом сегмент DD-PMSG за последние 10 лет удвоился и в 2020 г. составил около 20%. На шельфе же, наоборот, топология DD-PMSG доминирует с долей около 60% мирового рынка [26]. Такая закономерность объясняется тем, что для шельфовых

ВЭУ требуются более крупные и мощные турбины с высоким КПД. При этом очевидное преимущество конфигурации DD-PMSG — более низкая стоимость технического обслуживания. Главный же их недостаток — высокая стоимость синхронного генератора с постоянными неодимовыми магнитами и использование большого количества меди в подводных коллекторах и кабелях, связывающих ВЭУ с трансформаторными и преобразовательными (если присутствует передача постоянного тока) подстанциями [27]. Однако преимущества конфигурации PMSG позволяют делать прогнозы, согласно которым к 2040 г. доля ВЭУ с данной архитектурой увеличится до 95% на шельфе и до 40% на суше. В таком случае спрос на неодим и празеодим может увеличиться более чем в 3 раза [26, 28].

На конец 2023 г. ВЭС были сосредоточены в Китае (38%), Европе (26%) и Соединённых Штатах (18%). Можно отметить значительный рост их количества в Индии (4%) и Бразилии (4%). Россия же смогла нарастить производство электроэнергии, вырабатываемой ВЭС, только до 6 ТВт·ч из общемировых 2336 ТВт·ч, что составляет лишь 0.26% [24]. При этом наша страна обладает значительным потенциалом для развития данной отрасли энергетики. Территория России — самая большая в мире и составляет 17.1 млн км², что немногим меньше целого континента — Южной Америки (17.8 млн км²), а площадь континентального шельфа также самая большая в мире — более 6 млн км². Кроме того, опыт европейских стран показал, что морской ветер обеспечивает более высокую мощность и менее переменчив, чем береговой. В этой связи строительство ВЭУ на шельфе обладает экономическими и эксплуатационными преимуществами за счёт возможности установки самых мощных генераторов из существующих.

Отставание от общемирового тренда ускоренного развития возобновляемых источников энергии можно объяснить тем, что в России сделана ставка на генерацию тепло- и электроэнергии за счёт значительных нефтегазовых и угольных ресурсов, развитой атомной

¹⁴ International Energy Agency (IEA).

¹⁵ Gearbox double-fed induction generator (GB-DFIG), gearbox permanent-magnet synchronous generator (GB-PMSG), direct-drive permanent-magnet synchronous generator (DD-PMSG) и direct-drive electrically excited synchronous generator (DD-EESG).

промышленности и гидроэнергетики. Поэтому крупная ВЭС с генераторами от 2.5 МВт появилась в России только в 2017 г. (не считая Останинскую ВЭС в Республике Крым, эксплуатация которой началась в 2014 г.). Это была Ульяновская ВЭС-1 с номинальной мощностью 35 МВт. А на конец 2024 г. общая номинальная мощность ВЭС в стране достигла почти 2.5 ГВт. Сегодня 99% установленных ветроэнергетических мощностей в России принадлежат всего трём компаниям: ПАО “Форвард Энерго”¹⁶ (45%), АО “Росатом Возобновляемая энергия”¹⁷ (42%) и ПАО “ЭЛС-Энерго”¹⁸ (12%) [29].

В 2022 г. бурное развитие национальной ветроэнергетики на основе зарубежных технологий производства полностью остановилось. Ключевые технологические партнёры в этой сфере — компании “Vestas” и “Siemens Gamesa” — разорвали связи с российскими компаниями. Отечественная ветроэнергетическая отрасль не успела перестроиться и сформировать спрос на критически важные элементы ВЭУ, поскольку не была нацелена на построение производства полного цикла — от сырья до конечной продукции и её компонентов [21].

В результате, инвестируя существенные средства, компания АО “НоваВинд” в значительной степени продвинулась в вопросе локализации цепочки производства ВЭУ на основе турбин (LP2 L100-2,5), разработанных голландским технологическим партнёром “Lagerwey Systems B.V.”. Однако необъяснимым образом в 2023 г. по итогам конкурсного отбора проектов в сегменте ветроэнергетики единоличным победителем стала компания ООО “Уралэнергосбыт”, которая должна будет ввести почти 0.74 ГВт мощностей до 2030 г. [30]. При этом 50% этой компании принадлежит ПАО “Форвард Энерго” (бывшее ПАО “Фортум”, основанное финским энергетическим концерном “Fortum”, который ушёл с российского рынка и не собирается больше инвестировать в российскую ветроэнергетику) [31].

Следствием такого сценария будет дальнейшая технологическая зависимость российской ветроэнергетики от готовых решений зарубежной промышленности (в основном из Китая), поскольку производство комплектующих для ВЭУ требует разнообразного сырья. В то же время если бы в конкурсном отборе победила компания “НоваВинд”, в 2025–2029 гг. ей

потребовалось бы 700–1000 т неодимовых магнитов, производство которых можно было бы разместить на отечественных предприятиях [21], например, на упомянутом ранее заводе ООО “Русатом МеталлТех” или на предприятии ООО “Элемаш Магнит”¹⁹. Всеми необходимыми компетенциями для производства редкоземельных магнитов обладают также АО “Спецмагнит” и АО “НПП Исток им. А.И. Шокина”, входящие в холдинг “Росэлектроника” (ГК “Ростех”) [25].

Автомобильная промышленность России. Согласно Стратегии развития автомобильной промышленности Российской Федерации до 2035 года, утверждённой Правительством РФ 28 декабря 2022 г., автомобилестроение “является одной из ключевых отраслей российской экономики и определяет социально-экономический и научно-технический уровень развития страны” [32], поскольку создаёт потребность в высокотехнологичной продукции металлургической, химической, электронной и полупроводниковой отраслей, программного обеспечения, станкостроения и других сфер производства, в том числе редкоземельной промышленности. Помимо сильного мультипликативного эффекта в других областях, автомобильная промышленность предполагает развитие рынков запасных компонентов автомобилей, сферы обслуживания и инфраструктуры, включая новые виды транспорта — газомоторную технику, водородный и электротранспорт. Однако данная отрасль стала ещё одним наглядным примером того, как страна теряет внутренний рынок той продукции, производство которой могут обеспечить отечественные заводы.

По данным аналитического агентства “АВТОСТАТ”, объём российского рынка новых легковых автомобилей в 2024 г. составил 1.57 млн шт.²⁰, поднявшись на 11 место в мире [34]. Хотя за последние 10 лет “АвтоВАЗ” нарастил долю рынка до уровня 28–30%, основная его часть, которая в 2024 г. составила почти 60%²¹, была отдана китайским автопроизводителям (рис. 4). Понятно, что это результат сокращения и впоследствии ухода с российского рынка неких китайских марок на отечественном рынке продолжит расти, только уже за счёт сокращения доли отечественных автомобилей.

Похожую ситуацию можно наблюдать в сегменте продаж новых крупнотоннажных грузовиков (от 16 т). Доля рынка основных отечественных производителей за последние 5 лет катастрофически сократилась — до 20–23%. В то же самое время продажи китайских грузовиков в 2024 г. достигли 65% (рис. 5). Объём

¹⁶ В 2023 г. ПАО “Фортум” поменяло название на ПАО “Форвард Энерго” (после передачи 98.23% акций финского концерна “Fortum” под управление Росимущества).

¹⁷ В соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 22.01.2024 № 109-р компания АО “НоваВинд” была переименована в АО “Росатом Возобновляемая энергия”, которая ранее совместно с голландским технологическим партнёром “Lagerwey Systems B.V.” (дочерняя компания немецкого ветроэнергетического гиганта “Enercon GmbH”) локализовала производство ВЭУ в России на основе турбин, разработанных “Lagerwey Systems B.V.”

¹⁸ В соответствии с п. 5 Указа Президента РФ от 05.08.2022 № 520 ПАО “ЛУКОЙЛ” (9.53 млрд обыкновенных акций) и инвестиционный фонд Газпромбанк-Фрезия (10.43 млрд обыкновенных акций) получили разрешение приобрести у итальянской группы Enel акции генерирующей компании ПАО “Энел Россия”.

¹⁹ Дочернее предприятие ПАО “Ковровский механический завод”, входящее в Топливную компанию “ТВЭЛ” государственной компании “Росатом”, которое специализируется на изготовлении наукоёмкой и технически сложной продукции.

²⁰ В денежном эквиваленте это соответствует почти 15 трлн руб. [33].

²¹ Для сравнения отметим, что доля продаж китайских автопроизводителей в самом Китае в 2024 г. находилась примерно на том же уровне [34].

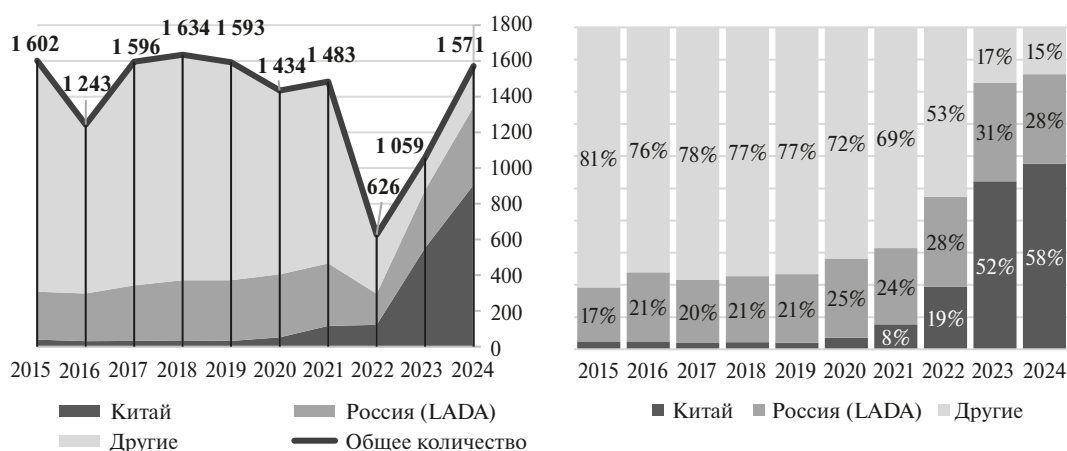


Рис. 4. Продажи новых легковых автомобилей в России, 2015–2024 гг. (слева – тыс. шт., справа – %)

Fig. 4. New passenger car sales in Russia, 2015–2024 (left – thousand units, right – %)

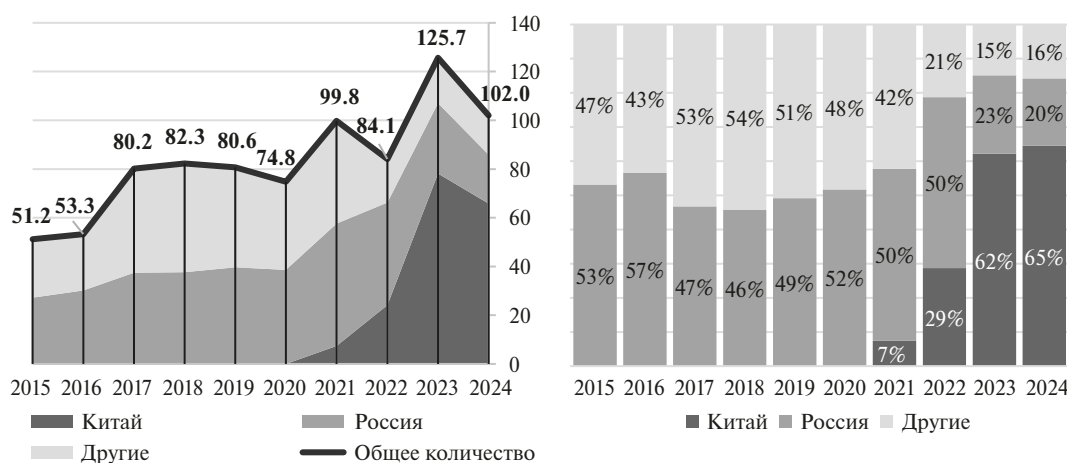


Рис. 5. Продажи новых крупнотоннажных грузовиков (от 16 т) в России, 2015–2024 гг. (слева – тыс. шт., справа – %)

Fig. 5. New heavy truck sales (above 16 tons) in Russia, 2015–2024 (left – thousand units, right – %)

рынка среднетоннажных грузовиков²² вырос на 4.9% и в 2024 г. составил почти 13.5 тыс. шт. При этом доля российской продукции аналогично общей ситуации на авторынке за последний год снизилась на 9% (до 61%) в пользу китайского сегмента, который, согласно аналитическому агентству “АВТОСТАТ”, увеличился до 32% [35].

Конечно, производится и другой моторизованный автотранспорт: автобусы, сельскохозяйственная и иная специализированная техника. Однако в ближайшие годы основной прорывной технологией, для которой будут необходимы РЗМ и другие металлы, станет производство полностью электрических (EV) и гибридных автомобилей (HEV)²³. По некоторым оценкам, итоговая цифра мировых продаж таких автомобилей в 2025 г. составит порядка 22 млн шт., что на 25% больше, чем годом ранее. Благодаря снижению

²² К сегменту среднетоннажных грузовиков относятся грузовые автомобили полной массой от 3.5 до 16 тонн [34].

²³ EV – electric vehicle, HEV – hybrid electric vehicle.

стоимости литий-ионных аккумуляторных батарей и росту производства более доступных моделей каждый четвертый проданный в 2025 г. автомобиль – HEV или EV. Причём Китай выпускает до 70% производимых в мире автомобилей этой категории и основную часть реализует на внутреннем рынке, лишь 17% продаж приходится на ЕС и 7% – на США. Прогнозы говорят о том, что через 10 лет гибридные и электрические автомобили будут составлять более 55% общего количества мировых продаж легкового автотранспорта, а через 15 лет – более 70% [24, 36, 37].

Поскольку эксплуатационные расходы в течение срока службы электромобилей существенно ниже, чем гибридных, темпы роста их производства будут выше, что в будущем значительно увеличит спрос на постоянные неодимовые магниты. Это связано с тем, что, помимо 40–100 шт. стандартных небольших электродвигателей, которые используются во всех транспортных средствах (например, в бочках стеклоочистителей или системе кондиционирования), более 2.5 кг неодимовых магнитов необходимо для силовых агрегатов

и трансмиссии электромобиля. Причём они должны работать при высоких температурах (до +150°C), сохраняя значительную коэрцитивную силу, что требует дополнительных легирующих добавок, в том числе диспрозия [4].

К сожалению, существенное сокращение продаж на внутреннем рынке легковых, среднетоннажных и крупнотоннажных грузовых автомобилей с классическими двигателями внутреннего сгорания, производимых основными российскими компаниями, не даёт им возможности переходить к разработкам новых технологий HEV и EV. Поэтому они вынуждены выживать в том числе за счёт государственных мер поддержки.

* * *

Россия располагает одной из крупнейших в мире редкоземельных минерально-сырьевых баз, однако после распада СССР были разрушены производственные цепочки, на основе которых на пике в конце 1980-х годов производились оксиды и чистые металлы объёмом более 9 тыс. т. Промышленным наследием стало потребление РЗМ в нефтеперерабатывающей и металлургической промышленности. Почти всю редкоземельную продукцию Россия экспортирует лишь в виде коллективного концентрата карбонатов, а оксиды, индивидуальные РЗМ и их соединения для производства высокотехнологичных товаров продолжает импортировать.

Наша страна имеет высокий потенциал для обеспечения своих потребностей в этом стратегическом сырье, однако развитию отечественной редкоземельной промышленности препятствуют низкий внутренний спрос и доминирование Китая на глобальном рынке. Сегодня очевидно, что в ключевых гражданских отраслях продукция российских предприятий, для которых необходимы РЗМ, вытесняется китайскими аналогами, а оценки степени локализации производства основного и вспомогательного оборудования часто не совсем корректны и могут приводить к ошибочным выводам с завышенными ожиданиями.

Жизненно необходимо переходить к цепочкам производства полного цикла и к системе наблюдения за всеми его этапами — от добычи руды до изготовления конечной продукции. Такой подход позволит контролировать все стадии производства, выявлять узкие и неэффективные места, координировать и отслеживать финансовое состояние предприятий, налаживать баланс между спросом и предложением. Это особенно важно для создания и поддержки новых прорывных технологий, как, например, в случае производства электрических и гибридных автомобилей, передовых ветрогенераторов.

Важно понимать, что Китай и дальше будет контролировать все отрасли промышленности, связанные с РЗМ, поскольку считает данный ресурс национальным достоянием. В результате сырьё в виде различных концентратов и сплавов (включая постоянные магниты) будет всегда под экспортными ограничениями, а производство высокотехнологичных товаров позволит КНР сохранить всю добавленную стоимость.

Россия может использовать свой высокий редкоземельный потенциал, но это необходимо делать, во-первых, стабилизируя спрос и предложение за счёт одновременного наращивания производства во всей технологической цепочке полного цикла. Во-вторых, необходимо защищать внутренний рынок и предприятия, которые обладают всеми необходимыми компетенциями и создают потоки сырья для производства отечественной продукции.

Россия стоит перед системным вызовом, поскольку создание цепочек производства полного цикла (даже усилиями таких гигантов, как “Росатом” или “Ростех”) — это необходимый, но недостаточный шаг. Без гарантированного внутреннего спроса со стороны ветроэнергетики, автомобилестроения, электроники и робототехники новые производства редкоземельного сырья будут нерентабельны. Необходима скоординированная государственная политика в этой сфере, иначе Россия рискует остаться страной с огромными запасами стратегического сырья, но без возможности его эффективного использования для собственного технологического роста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Коган Б.И. *Редкие металлы. Прошлое, настоящее, будущее*. М.: Наука, 1978. Kogan B.I. *Rare Metals. Past, Present, Future*. Moscow: Nauka, 1978. (In Russ.)
2. Volker Z. *Rare earth elements. A new approach to the nexus of supply, demand and use: exemplified along the use of Neodymium in permanent magnets*. Berlin; Heidelberg: Springer, 2013. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-35458-8>
3. Яценко В.А., Лебедева М.Е. Прогноз динамики спроса на мировом рынке редкоземельных металлов. *Мир экономики и управления*. 2021. Т. 21. № 4. С. 124–145. <https://doi.org/10.25205/2542-0429-2021-21-4-124-145> Yatsenko V.A., Lebedeva M.Ye. Demand forecasting in the world rare earth metals market. *World of Economics and Management*. 2021, vol. 21, no. 4, pp. 124–145. <https://doi.org/10.25205/2542-0429-2021-21-4-124-145> (In Russ.)
4. Goodenough K.M., Wall F., Merriman D. The rare earth elements: demand, global resources, and challenges for resourcing future generations. *Natural Resources Research*. 2018, no. 2 (27), pp. 201–216.
5. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации. *Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации*. https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii (дата обращения 02.07.2025).

- On the state and use of mineral raw materials of the Russian Federation. *Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation*. https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii (accessed 02.07.2025). (In Russ.)
6. Binnemans K., Jones P.T. Rare Earths and the Balance Problem. *Journal Sustainable Metallurgy*. 2015, no. 1, pp. 29–38. <https://doi.org/10.1007/s40831-014-0005-1>
 7. Dayton contributes to the history of magnetic materials. *University of Dayton Research Institute*. <https://web.archive.org/web/20130527161807/http://www.udri.udayton.edu/News/1999/Pages/DaytonContributestotheHistoryofMagneticMaterials.aspx> (accessed 23.06.2025).
 8. Binnemans K., Jones P.T., Müller T., et al. Rare earths and the balance problem: How to deal with changing markets. *Journal of Sustainable Metallurgy*. 2018, no. 4, pp. 126–146. <https://doi.org/10.1007/s40831-018-0162-8>
 9. Менушенков В.П. Структурные превращения и коэрцитивная сила в сплавах для постоянных магнитов. Часть 2. Спечённые сплавы на основе Sm-Co и Nd-Fe-B. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2007. № S1. С. 163–178.
Menushenkov V.P. Structural transformations and coercivity in alloys for permanent magnets. Part 2. Sintered Sm-Co and Nd-Fe-B Alloys. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2007, no. S1, pp. 163–178. (In Russ.)
 10. Государственный доклад “О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2023 году”. *Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации*. https://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvenny_doklad_o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii (дата обращения 02.07.2025).
Government report “On the state and use of mineral raw materials of the Russian Federation in 2023”. *Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation*. https://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvenny_doklad_o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii (accessed 02.07.2025). (In Russ.)
 11. Крюков В.А., Яценко В.А., Крюков Я.В. Редкоземельная промышленность — реализовать имеющиеся возможности. *Горная промышленность*. 2020. № 5. С. 68–84. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-5-68-84>
Kryukov V.A., Yatsenko V.A., Kryukov Ya.V. Rare earth industry — realizing existing opportunities. *Russian Mining Industry*. 2020, no. 5, pp. 68–84. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-5-68-84> http://lib.ieie.nsc.ru/docs/2020/Gornaya_prom-2020_Kryukov-Yatsenko-Kryukov.pdf (accessed 07.02.2022). (In Russ.)
 12. Han A., Ge J., Lei Y. An adjustment in regulation policies and its effects on market supply: Game analysis for China’s rare earths. *Resources Policy*. 2015, vol. 46, pt. 2, pp. 30–42. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2015.07.007>
 13. China halts critical exports as trade war intensifies. *The New York Times Company*. <https://www.nytimes.com/2025/04/13/business/china-rare-earths-exports.html> (accessed 16.07.2025).
 14. Годовые отчёты. *Соликамский магниевый завод*. Росатом. <https://www.smw.ru/shareholder/everyyear> (дата обращения 12.04.2025).
Annual reports. *Solikamsk Magnesium Plant*. *Rosatom*. <https://www.smw.ru/shareholder/everyyear> (accessed 12.04.2025). (In Russ.)
 15. Our History. *Neo Performance Materials*. <https://www.neomaterials.com/about-neo/our-history> (accessed 19.03.2018).
 16. Распоряжение Правительства РФ от 31 декабря 2022 г. № 4403-р. *Правительство Российской Федерации*. <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202301050006> (дата обращения 30.10.2024).
Order of the Government of the Russian Federation of December 31, 2022, no. 4403-r. *Government of the Russian Federation*. <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202301050006> (accessed 30.10.2024). (In Russ.)
 17. Денисом Мантуровым подписано соглашение о намерениях по развитию направления “Технологии новых материалов и веществ”. *Правительство Российской Федерации*. <http://government.ru/news/47550> (дата обращения 30.10.2024).
Denis Manturov signed an agreement of intent to develop the “Technology of New Materials and Substances” field. *Government of the Russian Federation*. <http://government.ru/news/47550> (accessed 30.10.2024). (In Russ.)
 18. Распоряжение Правительства РФ от 3 апреля 2023 г. № 809-р. *Правительство Российской Федерации*. <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202304040023> (дата обращения 13.11.2024).
Order of the Government of the Russian Federation of April 03, 2023, no. 809-r. *Government of the Russian Federation*. <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202304040023> (accessed 13.11.2024). (In Russ.)
 19. Ловозёрский ГОК передан Росатому. *Ловозёрский ГОК*. *Росатом*. <https://ловозерский-гок.рф/2023/05/31/ловозерский-гок-передан-росатому> (дата обращения 13.11.2024).
Lovozero Mining and Processing Plant transferred to Rosatom. *Lovozerky Mining and Processing Plant*. <https://ловозерский-гок.рф/2023/05/31/ловозерский-гок-передан-росатому> (accessed 13.11.2024). (In Russ.)

20. Яценко В.А., Крюков Я.В. Фрагментация и консолидация производственных цепочек в мировой редкоземельной промышленности. *Горная промышленность*. 2022. № 1. С. 66–74. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1-66-74>
Yatsenko V.A., Kryukov Y.V. Fragmentation and consolidation of production chains in the global rare earth industry. *Mining Industry*. 2022, no. 1, pp. 66–74. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1-66-74> <https://miningmedia.ru/en/articles/original-paper/17142-fragmentation-and-consolidation-of-productionchain-in-the-global-rare-earth-industry> (In Russ.)
21. Крюков В.А., Яценко В.А., Крюков Я.В. Взаимосвязь “РЗМ-Энергопереход” в контексте проектов полного цикла. *Геология рудных месторождений*. 2023. Т. 65. № 5. С. 416–427. <https://doi.org/10.31857/S0016777023050052>
Kryukov V.A., Yatsenko V.A., Kryukov Ya.V. The REM-energy transition interrelation in the context of full-cycle projects. *Geology of Ore Deposits*. 2023, vol. 65, no. 5, pp. 416–427. <https://doi.org/10.1134/S1075701523050057> (In Russ.)
22. Rare earths statistics and information. By National Minerals Information Center. *U.S. Geological Survey*. <https://www.usgs.gov/centers/nmic/rare-earths-statistics-and-information> (accessed 11.07.2025).
23. Яценко В.А. *Подходы к экономической оценке новых проектов по освоению ресурсов редкоземельного сырья в России*. Специальность 08.00.05 “Экономика и управление народным хозяйством (экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами – промышленность)”: автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата экономических наук / Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН. Новосибирск, 2020.
Yatsenko V.A. *Approaches to the economic evaluation of new projects for the development of rare earth raw materials in Russia*. Specialty 08.00.05 “Economics and management of the national economy (economics, organization and management of enterprises, industries, complexes – industry)”: dissertation abstract for the degree of candidate of economic sciences. Institute of Economics and Industrial Engineering of the SB of the RAS. Novosibirsk, 2020. (In Russ.)
24. World Energy Outlook 2024. *International Energy Agency*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024> (accessed 23.07.2025).
25. Крюков В.А., Жданев О.В., Яценко В.А. и др. Постоянные неодимовые магниты в российской ветроэнергетике. *Вестник РАН*. 2023. Т. 93. № 5. С. 428–438. <https://doi.org/10.31857/S0869587323050067>
Kryukov V.A., Zhdanov O.V., Frolov K.N., et al. Neodymium permanent magnets in Russia’s wind power. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2023, vol. 93, no. 5, pp. 428–438. <https://doi.org/10.31857/S0869587323050067> (In Russ.)
26. The role of critical minerals in clean energy transitions. *International Energy Agency (IEA)*. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions> (accessed 11.04.2022).
27. Белей В.Ф., Задорожный А.О. Ветроэнергетика России: анализ состояния и перспективы развития. *Энергия: экономика, техника, экология*. 2018. № 8. С. 2–15. <https://doi.org/10.31857/S023336190001293-8>. <http://ras.jes.su/energy/s207987840000538-0-1> (дата обращения 30.06.2022).
Beley V.F., Zadorozhnyi A.O. Wind energy in Russia: Analysis of the state and development prospects. *Energy: Economy, Technology, Environment*. 2018, no. 8, pp. 2–15. <https://doi.org/10.31857/S023336190001293-8>. <http://ras.jes.su/energy/s207987840000538-0-1> (accessed 30.06.2022). (In Russ.)
28. Elia A., et al. Wind turbine cost reduction: A detailed bottom-up analysis of innovation drivers. *Energy Policy*. 2020, vol. 147, art. 111912. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111912>
29. Статистика ВИЭ. Ассоциация развития возобновляемой энергетики (АРВЭ). <https://rreda.ru/industry/statistics> (дата обращения 23.07.2025).
Renewable Energy Statistics. *Association for the Development of Renewable Energy (ARDE)*. <https://rreda.ru/industry/statistics> (accessed 23.07.2025). (In Russ.)
30. Результаты отборов проектов. АТС. <https://www.atsenergo.ru/vie/proresults> (дата обращения 01.04.2023).
Results of project selection. *ATS*. <https://www.atsenergo.ru/vie/proresults> (accessed 01.04.2023). (In Russ.)
31. Fortum’s Russian joint venture has participated in a local wind auction – Fortum will not invest in Russia. *Fortum*. <https://www.fortum.com/media/2023/04/fortums-russian-joint-venture-has-participated-local-wind-auction-fortum-will-not-invest-russia> (accessed 19.04.2023).
32. Распоряжение Правительства РФ от 28 декабря 2022 г. № 4261-р “Об утверждении Стратегии развития автомобильной промышленности Российской Федерации до 2035 г.”. *Правительство Российской Федерации*. <http://static.government.ru/media/acts/files/1202212300047.pdf> (дата обращения 14.07.2025).
Order of the Government of the Russian Federation of December 28, 2022 no. 4261-r “On approval of the Strategy for the Development of the Automotive Industry of the Russian Federation until 2035”. *Government of the Russian Federation*. <http://static.government.ru/media/acts/files/1202212300047.pdf> (accessed 14.07.2025). (In Russ.)

33. Пресс-конференция РОАД 2025. Обзор авторынка 2025. *РОАД*. <https://asroad.org/news/mnenie-jeksperta/obzor-avtorynka-rossii-2024> (дата обращения 15.07.2025).
ROAD press conference 2025. Automotive market overview 2025. *Association of Russian Automobile Dealers*. <https://asroad.org/news/mnenie-jeksperta/obzor-avtorynka-rossii-2024> (accessed 15.07.2025). (In Russ.)
34. Готовые отчёты. *Аналитическое агентство АВТОСТАТ*. https://www.autostat.ru/research/ready_reports (дата обращения 14.07.2025).
Ready-made reports. *AUTOSTAT Analytical Agency*. https://www.autostat.ru/research/ready_reports (accessed 14.07.2025). (In Russ.)
35. Продажи новых среднетоннажных грузовиков (MCV) в России в 2024 году и в декабре. *Аналитическое агентство АВТОСТАТ*. <https://www.autostat.ru/press-releases/59246> (дата обращения 15.07.2025).
Sales of new medium-duty trucks (MCV) in Russia in 2024 and in December. *AUTOSTAT Analytical Agency*. <https://www.autostat.ru/pressreleases/59246> (accessed 15.07.2025). (In Russ.)
36. Электромобили (мировой рынок). *TAdviser*. [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Электромобили_\(мировой_рынок\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Электромобили_(мировой_рынок)) (дата обращения 16.07.2025).
Electric vehicles (global market). *TAdviser*. [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Электромобили_\(мировой_рынок\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Электромобили_(мировой_рынок)) (accessed 16.07.2025). (In Russ.)
37. Global electric vehicle sales set for record-breaking year, even as US market slows sharply, BloombergNEF finds. *Bloomberg Finance L.P.* <https://about.bnef.com/insights/clean-transport/global-electric-vehicle-sales-set-for-record-breaking-year-even-as-us-market-slows-sharply-bloombergnef-finds> (accessed 24.07.2025).