

# Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы редкоземельных металлов России

Алексей Евгеньевич ЧЕРЕПОВИЦЫН\*  
Ирина Петровна ДОРОЖКИНА\*\*

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

## Аннотация

**Актуальность.** Редкоземельные металлы (РЗМ) являются ключевыми компонентами, используемыми во многих стратегически значимых и высокотехнологичных отраслях промышленности. Минерально-сырьевой потенциал России включает значительные запасы РЗМ, однако до сих пор в стране не налажена полная технологическая цепь создания РЗМ-продукции, а добыча элементов осуществляется на единственном месторождении в Мурманской области – Ловозерском, большая часть которых экспортируется.

**Цель работы** – анализ состояния ресурсной базы России в части обеспеченности РЗМ и выявление перспектив развития отечественного редкоземельного производства.

**Методы исследования.** На разных этапах исследования применяются методы контент-анализа, синтеза, декомпозиции, графический метод.

**Результаты.** Проанализированы ключевые месторождения РЗМ России по объему запасов, содержанию РЗМ в руде в пересчете на оксиды ( $\text{Tr}_2\text{O}_3$ ), структуре запасов по элементам и другим показателям. Определены месторождения, включающие запасы как легких, так и дефицитных тяжелых РЗМ. На основе проведенного анализа предложены варианты развития отечественной редкоземельной отрасли, в том числе при наращивании емкости национального рынка, выходе на мировой рынок. Обоснованы решения в части выбора объектов, которые могут обеспечить реализацию предложенных направлений развития отрасли с учетом ресурсного потенциала месторождений.

**Выводы.** Полученные результаты показывают, что при решении государством задачи по наращиванию экспорта и выходу на мировой рынок ключевыми объектами разработки РЗМ выступают месторождения Томторское, Республика Саха (Якутия) и Зашихинское (Иркутская область), готовящиеся к вводу в эксплуатацию в 2025 г. С другой стороны, обеспеченность запасами месторождений Мурманской области, в том числе разрабатываемого Ловозерского, позволит обеспечить удовлетворение спроса на РЗМ, в том числе потенциального, на внутреннем рынке.

**Ключевые слова:** редкоземельные металлы, минерально-сырьевая база, месторождения РЗМ, структура запасов, спрос на РЗМ, экспорт.

## Введение

Отрасль редкоземельных металлов (РЗМ) России в настоящее время приобретает стратегическую значимость для современной промышленности, так как данные элементы являются важнейшими компонентами, применяемыми в различных высокотехнологичных отраслях экономики, к которым относятся военно-промышленный комплекс, авиа- и ракетостроение, атомная и ядерная энергетика, производство оптических изделий и др. [1, 2]. В принятой 9 сентября 2023 г. Сводной стратегии развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2030 г. и на период до 2035 г. (далее – Сводная стратегия)<sup>1</sup> обозначен принципиально новый вектор развития отечественной редкоземельной отрасли, где обо-

значены ключевые цели, заключающиеся в обеспечении полного удовлетворения внутреннего спроса в РЗМ, снижении импорта продукции, выходе на мировой рынок.

К РЗМ относят 17 элементов легкой (цериевой) и тяжелой (иттриевой) группы. Сегодня в мире наблюдается так называемая «балансовая проблема», заключающаяся в переизбытке металлов легкой группы, таких как неодим, лантан, церий, и дефиците тяжелых элементов, среди которых диспрозий, иттрий, тербий и др. [1]. Ресурсный потенциал российских недр велик – страна занимает 3-е место в мире по запасам РЗМ (около 21 млн т по категории запасов А, В, С<sub>1</sub>; с категорией запасов С<sub>2</sub> – более 30 млн т) [3, 4]. Важно отметить, что в российских месторождениях

✉ Cherepovitsyn\_AE@pers.spmi.ru

 <http://orcid.org/0000-0003-0472-026X>

\*\*irinadorozhkina.99@gmail.com

 <http://orcid.org/0009-0009-9292-2064>

<sup>1</sup> Об утверждении Сводной стратегии развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2030 года и на период до 2035 года: распоряжение Правительства РФ от 09.09.2023 г. № 2436-р. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_456896/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_456896/)

Таблица 1. Анализ основных месторождений РЗМ в России. Составлено авторами на основе [4, 7–17]  
 Table 1. Analysis of the main REE deposits in Russia. Compiled by the authors based on [4, 7–17]

Месторождение	Запасы A + B + C <sub>1</sub> + C <sub>2</sub> , тыс. т	Содержание Тr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> в руде, %	Доля в запасах РФ, %	Структура запасов по элементам, %	Мощность, тыс. т руды/год	Географическое расположение	Оператор
Ловозерское	7179	1,09–1,12	23	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 54 La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 33 Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 3 Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 10	2,7 (в 2019 г.)	Мурманская область	ООО «Ловозерский ГОК»
Хибинская группа	10 163	0,2–0,4	32	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 45,4 La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 26,7 Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 4 Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 14,8 Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 2,3 Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 1,8 Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,9 Другие – 2,6	102,1 (другие компоненты в 2019 г.)	Мурманская область	АО «Апатит» (ПАО «ФосАгро»), АО «Северо-Западная Фосфорная Компания» (ПАО «Акрон»)
Томторское	3233	8–12	10	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 42,7 La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 23,3 Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 16,3 Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 6,4 Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 4,1 Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 2,5 Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 1,7 Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,83 Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,24 Другие – 1,57	150 (проектная)	Республика Саха (Якутия)	ООО «Восток Инжиниринг» (ГК «Ростех», Группа «Ист»)
Зашихинское <sup>1</sup>	Н/д (комплексно – около 63 млн т, включая другие компоненты)	Н/д	Н/д	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,01–1,37 Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,01–0,9 Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,5–5,9 Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 40–44 Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 1,5–2,9 Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 3–5,2	1020 (проектная, включает добычу других компонентов)	Иркутская область	ЗАО «Техноинвест Альянс»
Ярегское	1031	0,04	3	Н/д	Н/д	Республика Коми	ООО «ЯрегаРуда», ООО «ПУКОЙП-Коми»
Чукотское	2862	5,38	9	Н/д	150	Красноярский край	Н/д
Селигдарское	4410 (A + B + C <sub>1</sub> )	0,35	14	Н/д	Н/д	Республика Саха (Якутия)	Н/д
Белозиминское	1646 (C <sub>2</sub> )	0,9	5	Н/д	Н/д	Иркутская область	Н/д

Примечание: н/д – нет данных.

<sup>1</sup> Структура запасов РЗМ Зашихинского месторождения оценивалась по содержанию Тr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в разных типах пород.

сосредоточены большие запасы как легких, так и тяжелых элементов, однако их географическое распределение неоднородно. Так, наибольшая доля всех запасов РЗМ (более 50 %) приходится на месторождения Мурманской области [5]. Там же расположено единственное на сегодняшний день разрабатываемое месторождение РЗМ – Ловозерское – мощностью около 2,7 тыс. т добываемых РЗМ в год [4]. Запасы месторождений Мурманской области, включая Хибинскую группу, содержат преимущественно легкие РЗМ, тогда как тяжелые элементы сосредоточены в других месторождениях, находящихся на разных этапах разработки (Томторское, Зашихинское и др).

Среди ключевых проблем, препятствующих полномасштабному развитию отрасли, можно выделить низкую емкость национального рынка (низкий уровень внутреннего спроса на РЗМ), отсутствие технологий разделения оксидов РЗМ и получения высокотехнологичной продукции [6]. На сегодняшний день цепочка создания РЗМ-продуктов в России ограничивается производством карбонатов неразделенных РЗМ на ОАО «Соликамский магниевый завод», основная часть которых экспортируется [4]. Внутреннее потребление РЗМ почти полностью обеспечивается импортом из Китая, что становится угрозой экономической безопасности страны в целом ввиду высокой стратегической значимости элементов. Тем не менее существует и ряд перспектив развития отечественного редкоземельного производства, обусловленных уникальностью минерально-сырьевой базы. Данный фактор при наращивании соответствующих технологических возможностей может стать определяющим при разработке стратегий развития национального рынка РЗМ, а также выхода на мировой рынок.

Цель работы заключается в анализе состояния ресурсной базы России в части обеспеченности РЗМ и выявлении перспектив развития отечественного редкоземельного производства с учетом прогнозов потребления. Задачи исследования включают: 1) анализ основных направлений развития редкоземельной отрасли в России; 2) обзор состояния минерально-сырьевой базы РЗМ; 3) разработку предложений по развитию освоения месторождений РЗМ с учетом прогнозных рынков потребления.

#### Методы и материалы

Ключевые методы включают контент-анализ научной литературы по теме и объекту исследования, общенаучные методы анализа, синтеза, декомпозиции. Для интерпретации полученных результатов применяется графический метод. Информационный базис исследования объединяет государственные доклады Минприроды России «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации», отчеты Геологической службы США (U. S. Geological Survey). В работе проанализированы документы стратегического характера (стратегии, концепции, программы, схемы), связанные с вопросами развития отечественной отрасли РЗМ, а также промышленных отраслей, использующих данные элементы, в том числе авиатранспортной, энергетической, отрасли производства электрического автомобильного транспорта и т. д.

#### Результаты

##### 1. Состояние минерально-сырьевой базы России.

Авторы провели анализ основных месторождений РЗМ России, находящихся на разных проектных стадиях, а также планирующихся к вводу в эксплуатацию, находящихся в нераспределенном фонде недр. Анализ проводился по таким показателям, как величина запасов, содержание РЗМ в пересчете на оксиды ( $\text{Tr}_2\text{O}_3$ ), структура запасов по элементам, проектная мощность и др. Результаты представлены в табл. 1.

Ловозерское месторождение было введено в эксплуатацию в 1951 г. Данное месторождение по величине запасов уступает только Хибинской группе, а структура запасов представлена преимущественно легкими элементами, в том числе церием, лантаном, празеодимом, неодимом [14]. Ключевое конкурентное преимущество данного объекта заключается в том, что только на нем ведется промышленная добыча РЗМ и, соответственно, налажена технологическая цепь получения карбонатов РЗМ. Также содержание  $\text{Tr}_2\text{O}_3$  в рудах Ловозерского месторождения значительно выше относительно большей части других месторождений, в том числе в Мурманской области.

Месторождения Хибинской группы не отличаются высоким содержанием  $\text{Tr}_2\text{O}_3$ , однако здесь ведется добыча других компонентов, в том числе титана. Также месторождения характеризуются наличием дефицитных тяжелых РЗМ, в том числе гадолиния и диспрозия, запасы которых суммарно можно оценить в объеме около 270 тыс. т [5]. На 2024 г. месторождение Партомчорское подготавливается к освоению.

Томторское месторождение в Республике Саха (Якутия) отличается уникальными концентрациями иттрия, тербия, а также ниобия и скандия. Данное месторождение содержит наибольшее количество запасов тяжелых РЗМ относительно всех запасов среди отечественных месторождений – почти 300 тыс. т, включая итрий, гадолиний, диспрозий и тербий [15]. Содержание  $\text{Tr}_2\text{O}_3$  Томторского месторождения также значительно выше среднего в России и достигает 12 %. Ввод месторождения в эксплуатацию планируется в 2023–2025 гг.

Другой перспективный проект разработки Зашихинского месторождения в Иркутской области тоже является в своем роде уникальным – здесь сосредоточены относительно большие запасы иттрия, а также востребованных тантала, ниобия, урана, циркония, которые также планируется разрабатывать [16, 17]. Объект планируется ввести в эксплуатацию в 2025 г.

Расположенное в Республике Коми Ярегское месторождение является единственным в мире, на котором ведется добыча сверхвязкой нефти шахтным способом. На месторождении обнаружены запасы РЗМ с относительно низким содержанием  $\text{Tr}_2\text{O}_3$ . Тем не менее, согласно [4], месторождение подготавливается к освоению.

Такие месторождения, как Чуктуконское, Селигдарское, Белозиминское, на данный момент времени находятся в нераспределенном фонде недр, однако здесь сосредоточено суммарно около 9 млн т запасов РЗМ [4].

Основываясь на данных табл. 1, авторы проанализировали структуру запасов ключевых месторождений РЗМ России: Ловозерское, Томторское, месторождения



Рисунок 1. Структура запасов РЗМ легкой и тяжелой группы ключевых месторождений, % (табл. 1)  
Figure 1. Structure of REE reserves of light and heavy groups of key deposits, % (table 1)

Хибинской группы. На рис. 1 представлены результаты анализа.

Согласно рис. 1, месторождения Мурманской области, где суммарно содержится около 20 млн т РЗМ, включают преимущественно легкие элементы, доля которых варьирует в пределах 97–100 %. Недра Томторского месторождения содержат около 9 % (или почти 300 тыс. т) тяжелых РЗМ относительно всех запасов, включая иттрий, гадолиний, диспрозий, тербий. Для сравнения: в рудах Хибинской группы месторождений содержание тяжелых РЗМ не превышает 3 % от всех запасов, что соответствует объему запасов в размере около 270 тыс. т РЗМ, включая диспрозий и гадолиний [5].

Анализ структуры запасов РЗМ позволяет сформулировать выводы о содержании металлов как легкой, так и тяжелой группы, что может стать ключевым фактором при выборе первоочередных объектов, планируемых к вводу в эксплуатацию. Можно определить два основных направления развития отечественного редкоземельного производства, согласно Сводной стратегии: 1) в связи с ростом спроса на внутреннем рынке; 2) в результате выхода на мировой рынок. Как в первом, так и во втором случае решение задач по наращиванию производства и удовлетворению спроса на РЗМ должно быть обеспечено достаточным количеством ресурсов.

**2. Перспективы развития отрасли в связи с ростом внутреннего спроса.** В России на протяжении последних нескольких лет потребление РЗМ сохраняется на уровне 1,1–1,2 тыс. т/год [4] и осуществляется в нескольких отраслях промышленности, среди которых нефтехимия и нефтепереработка (около 0,6–0,7 тыс. т/год), металлургия (около 0,1 тыс. т/год), оптико-механическая промышленность, атомная энергетика и др. Наибольшей долей спроса в структуре отраслевого потребления РЗМ (до 70 %) характеризуется нефтехимическое и нефтеперерабатывающее производство, где данные элементы применяются

при производстве катализаторов крекинга нефти [18]. Согласно предыдущему исследованию авторов [6], прогнозный совокупный спрос, сложившийся на настоящий момент времени в ключевых традиционных отраслях, к 2030 г. возрастет незначительно – на 17 % в соответствии с принятыми программами и концепциями развития данных отраслей. Основным фактором роста емкости национального рынка РЗМ рассматривается развитие новых, формирующихся отраслей промышленности, таких как, например, производство электромобильного транспорта, где к 2030 г. ожидается выпуск более 200 тыс. электрических автомобилей<sup>3</sup>, «зеленой» энергетики. Не менее значимой отраслью-потребителем РЗМ, где также ожидается наращивание производственных мощностей в ближайшей перспективе в связи с реализацией программ по импортозамещению, является авиастроение<sup>4</sup>.

Согласно прогнозам, составленным авторами, к 2030 г. спрос на РЗМ как в традиционных отраслях промышленности, так и с учетом формирования новых прогрессивных отраслей, может составить около 2,2 тыс. т [6], что почти в два раза превышает текущий уровень потребления. В связи с развитием как традиционных, так и новых высокотехнологичных отраслей экономики, распределение прогнозного спроса на РЗМ по элементам может выглядеть следующим образом (рис. 2):

Как видно на рис. 2, около 90 % потребления РЗМ будет приходиться на металлы легкой группы, а именно неодим, лантан, церий и празеодим. В связи с этим при развитии внутреннего рынка РЗМ первостепенными объектами разработки запасов выступают месторождения, расположенные в Мурманской области, богатые запасами легких элементов, согласно табл. 1 и рис. 1. Потребность в данных элементах в совокупности будет составлять около 2 тыс. т к 2030 г., следовательно, имеющиеся запасы месторождений (около 20 млн т в совокупности) позволят обеспечить спрос.

<sup>3</sup> Об утверждении Концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 23 августа 2021 г. № 2290-р.

<sup>4</sup> Об утверждении комплексной программы развития авиатранспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года: распоряжение Правительства Российской Федерации.



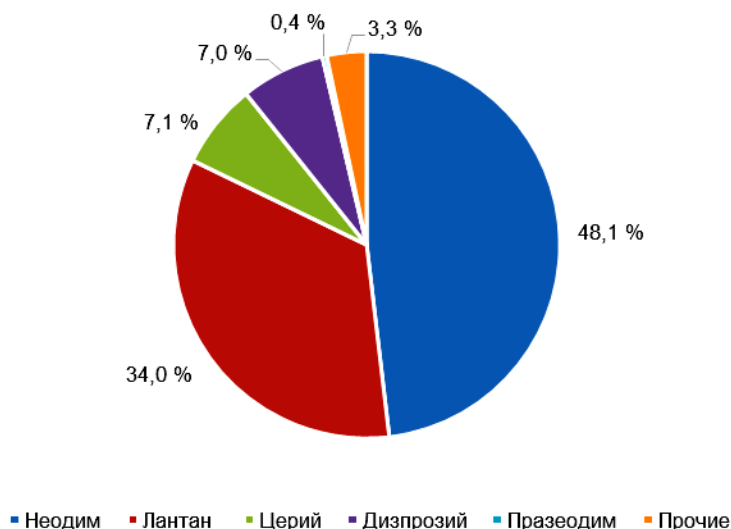


Рисунок 2. Структура прогнозного потребления РЗМ в России по элементам в 2030 г. согласно прогнозам развития внутреннего рынка [6]

Figure 2. The structure of the forecast consumption of rare earth metals in Russia by elements in 2030 according to forecasts for the development of the domestic market [6]

Потребление диспрозия – востребованного «тяжелого» элемента, который используется в таких областях, как производство магнитных материалов, катализаторов, гибридных двигателей, в ядерной энергетике, не превысит 7 % в структуре совокупного прогнозного потребления РЗМ в отечественных промышленных отраслях. Тем не менее данный элемент, как и ряд других РЗМ тяжелой группы (иттрий, тербий и др.), является дефицитным относительно мирового потребления, что формирует другую предпосылку к развитию отечественного редкоземельного производства – наращивание экспорта. Согласно табл. 1, в недрах месторождений Хибинской группы сосредоточено около 100 тыс. т запасов диспрозия, тогда как спрос на него на внутреннем рынке составит около 150 т к 2030 г.

**3. Перспективы развития отрасли в связи с выходом на мировой рынок.** На протяжении долгого времени на мировом рынке фактическим монополистом по всей цепочке создания РЗМ-продукции остается Китай. Сегодня Россия, несмотря на большой ресурсный потенциал, как и весь мир в целом, ощущает серьезную сырьевую зависимость от Китая, где сосредоточено более 30 % всех мировых запасов РЗМ и от 60 до 90 % мирового производства концентратов, оксидов, металлов и конечной продукции РЗМ [2]. Импорт оксидов РЗМ из Китая в Россию на сегодняшний день превышает 90 % [1] от всего потребления данных элементов в стране, что связано с отсутствием технологических возможностей их разделения.

До недавнего времени мировые цены на продукцию РЗМ определяли экспортные квоты, устанавливаемые Китаем. Например, в 2010–2011 гг. их снижение вызвало резкий скачок цен – в 5–10 раз в зависимости от вида металла [4]. Следующий рост цен был отмечен в начале 2019 г. вследствие повышенной угрозы отмены поставок РЗМ из Китая в США на фоне торговой войны, однако в течение года они стабилизировались. На сегодняшний день Китай доминирует не только в структуре экспорта,

но и импорта РЗМ, лишая потребителей альтернативных источников. Как следствие, мировое сообщество ощущает всю большую потребность в диверсификации поставок данных элементов.

Запасы РЗМ в России, как было указано ранее, составляют около 21 млн т, что соответствует доле 16 % в структуре мировых запасов. Россия занимает 3-е место среди стран-лидеров по запасам РЗМ, уступая только Китаю и Вьетнаму [19], а также разделяя данную позицию с Бразилией [3]. Важно отметить, что одна из особенностей минерально-сырьевой базы России, которая в то же время является ее ключевым конкурентным преимуществом на мировом рынке РЗМ [20], – высокое содержание как металлов легкой, так и дефицитных металлов тяжелой группы. При этом большая часть всех тяжелых металлов сосредоточена на месторождениях Томторское и Зашихинское, согласно проведенному анализу. Как следствие, при выходе на мировой рынок необходимым решением станет наращивание производства дефицитных тяжелых элементов, и обеспечить потенциально растущие объемы их экспорта можно за счет разработки данных месторождений.

#### Заключение

Результаты проведенного анализа состояния минерально-сырьевой базы редкоземельных металлов России показывают, что крупные отечественные месторождения в Мурманской области, Республике Саха (Якутия), Иркутской области и других регионах содержат значительные запасы металлов как легкой группы (лантан, церий, неодим, празеодим и др.), так и тяжелой (диспрозий, иттрий, тербий, гадолиний и др.). В то же время месторождения Мурманской области, в том числе разрабатываемое Ловозерское и Хибинская группа месторождений, находящиеся на разных проектных стадиях, содержат преимущественно элементы легкой группы. Данный фактор обуславливает предпосылки по удовлетворению потенциального спроса на РЗМ на внутреннем рынке, который может сформиро-

ваться согласно прогнозам как в традиционных отраслях, уже использующих РЗМ, так и в новых формирующихся отраслях промышленности, таких как, например, производство электромобильного транспорта. Анализ структуры прогнозного потребления РЗМ в России к 2030 г. показывает, что 90 % спроса (или около 2 тыс. т РЗМ) будет приходиться на элементы легкой группы. Удовлетворить этот спрос возможно разработкой запасов действующего на сегодняшний день Ловозерского месторождения. Одновременно с этим по мере роста национального рынка спрос на тяжелые элементы также будет увеличиваться, в том числе на диспрозий (прогнозное потребление – около 150 т к 2030 г.), применяемый при производстве постоянных магнитов, катализаторов и в других областях. Для удовлетворения этой потребности необходимо вовлекать в разработку месторождения Хибинской группы, где со-

держание тяжелых элементов, в том числе диспрозия и гадолиния, составляет около 3 % (или около 270 тыс. т РЗМ) от всех запасов.

Перспективные месторождения Томторское в Республике Саха (Якутия) и Зашихинское в Иркутской области, планируемые к вводу в эксплуатацию к 2025 г., являются уникальными с точки зрения содержания РЗМ тяжелой группы, что становится важным фактором при реализации направления развития отечественного редкоземельного производства в связи с выходом на мировой рынок. Согласно оценкам, в недрах Томторского месторождения содержится около 300 тыс. т тяжелых РЗМ, в том числе иттрия, гадолиния, диспрозия, тербия, а на Зашихинском месторождении присутствуют также запасы иттербия, широко применяемого в том числе в металлургии и при производстве лазеров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Юшина Т. И., Петров И. М., Гришаев С. И., Черный С. А. Мировой рынок и технологии переработки редкоземельных металлов: современное состояние и перспективы // Горный журнал. 2015. № 2. С. 59–64. <https://doi.org/10.17580/gzh.2015.02.11>
2. Брянцева О. С. Состояние и возможности развития российской редкоземельной промышленности в условиях четвертой промышленной революции // Russian Economic Bulletin. 2022. Т. 5. № 6. С. 264–271.
3. Mineral Commodity Summaries. Reston, Virginia, U.S.A.: U. S. Geological Survey, 2022. URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-rare-earth.pdf>
4. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году: госуд. доклад. М.: Мин-во природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра), 2021. 572 с. URL: [https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/74a/GD\\_msb-2020.pdf](https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/74a/GD_msb-2020.pdf)
5. Kalashnikov A. O., Konopleva N. G., Danilin K. P. Rare Earths of the Murmansk Region, NW Russia: Minerals, Extraction Technologies and Value // Applied Earth Science. 2023. Vol. 132, issue 1. P. 52–61. <https://doi.org/10.1080/25726838.2022.2153000>
6. Cherepovitsyn A. E., Dorozhkina I. P., Solov'eva V. M. Forecasts of Rare-earth Elements Consumption in Russia: Basic and Emerging Industries // Studies on Russian Economic Development. 2024. Vol. 35. No. 5. P. 688–696. <https://doi.org/10.1134/S1075700724700229>
7. Максимова В. В., Красавцева Е. А., Савченко Е. Э., Икконен П. В., Елизарова И. Р., Маслобоев В. А., Макаров Д. В. Исследование состава и свойств хвостов обогащения лопаритовых руд текущего производства // Записки Горного института. 2022. Т. 256. С. 642–650. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.88>
8. Dmitrieva D., Solovyova V. Russian Arctic Mineral Resources Sustainable Development in the Context of Energy Transition, ESG Agenda and Geopolitical Tensions // Energies. 2023. Vol. 16, issue 13. Article number 5145. <https://doi.org/10.3390/en16135145>
9. Balaram V. Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact // Geoscience Frontiers. 2019. Vol. 10, issue 4. P. 1285–1303. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.12.005>
10. Tsukanov D. V., Smirnova D. L., Petkova A. P., Shtertser V. V. Modeling of cooling mode during hardening of a large-sized rotor blank made of Cr–Ni–Mo–V steel // Chernye Metally. 2024. No. 9. P. 29–36. <https://doi.org/10.17580/chm.2024.09.05>
11. Александрова Т. Н., Лушина Е. А. Влияние ионного состава жидкой фазы пульпы на технологические показатели обогащения // Цветные металлы. 2024. № 8. С. 13–20. <https://doi.org/10.17580/tsm.2024.08.02>
12. Коротеев В. А., Огородников В. Н., Поленов Ю. А., Савичев А. Н. Редкие и редкоземельные элементы в кианитовых рудах Кольского полуострова и Урала // Известия УГГУ. 2016. Вып. 3 (43). С. 13–19. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2016-3-13-19>
13. Пономарева М. А., Черемисина О. В., Машукова Ю. А., Лукьянцева Е. С. Повышение эффективности извлечения РЗМ из технологических растворов в процессе переработки апатитового сырья // Записки Горного института. 2021. Т. 252. С. 917–926. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.6.13>
14. Kalashnikov A. O., Konopleva N. G., Pakhomovsky Ya. A., Ivanyuk G. Yu. Rare Earth Deposits of the Murmansk Region, Russia – A Review // Economic Geology. 2016. Vol. 111 (7). P. 1529–1559. <https://doi.org/10.2113/econgeo.111.7.1529>
15. Malkova M. Yu., Zadiranov A. N., Zaya K., Dkhar P. Ore of the Tomtor rare-earth deposit for its industrial processing // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1687, no. 1. Article number 012038. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1687/1/012038>
16. Хохуля М. С., Мухина Т. Н., Иванова В. А., Митрофанова Г. В., Фомин А. В., Соколов В. Д. Обоснование и разработка комплексной технологии получения редкометаллических концентратов при глубокой переработке руды Зашихинского месторождения // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2016. Т. 2. № 3. С. 284–290.
17. Смирнов А. В., Сибилев А. С., Нечаев А. В., Спыну А. Ю. Гидрометаллургическая переработка колумбитового концентрата Зашихинского месторождения // Химическая технология. 2017. Т. 18. № 2. С. 81–88.
18. Semenova T., Martínez Santoyo J. Y. Increasing the Sustainability of the Strategic Development of Oil Producing Companies in Mexico // Resources. 2024. Vol. 13, issue 8. P. 1–36. Article number 108. <https://doi.org/10.3390/resources13080108>
19. Nguyen M. P., Ponomarenko T., Nguyen N. Energy Transition in Vietnam: A Strategic Analysis and Forecast // Sustainability. 2024. Vol. 16, issue 5. P. 1–20. Article number 1969. <https://doi.org/10.3390/su16051969>
20. Bortnikov N. S., Volkov A. V., Galyamov A. L., Vykentieiev I. V., Lalomov A. V., Murashov K. Yu. Fundamental Problems of Development of the Mineral-Resource Base of High-Tech Industry and Energy of Russia // Geology of Ore Deposits. 2022. Vol. 64. P. 313–328. <https://doi.org/10.1134/S1075701522060022>

Статья поступила в редакцию 30 октября 2024 года

# The state and prospects of development of the mineral resource base of rare earth metals in Russia

Aleksey Evgen'evich CHEREPOVITSYN\*  
Irina Petrovna DOROZHKINA\*\*

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

## Abstract

**Relevance.** Rare earth metals (REM) are key components used in many strategically important and high-tech industries. Russia's mineral resource potential includes significant reserves of REM, but so far the country has not established a complete technological chain for the creation of REM products, and the extraction of elements is carried out at the only deposit in the Murmansk region – Lovozerskoye, most of which are exported.

**The purpose of the work** is to analyze the state of the Russian resource base in terms of the availability of REM and identify prospects for the development of domestic rare earth production.

**Methods.** At different stages of the research, methods of content analysis, synthesis, decomposition, and graphical method are used.

**Results.** The key REM deposits in Russia have been analyzed in terms of reserves, the content of REM in ore in terms of oxides ( $\text{Tr}_2\text{O}_3$ ), the structure of reserves by elements and other indicators. Deposits have been identified, including reserves of both light and scarce heavy REM. Based on the analysis, options for the development of the domestic rare earth industry are proposed, including when increasing the capacity of the national market and entering the world market. The decisions regarding the selection of facilities that can ensure the implementation of the proposed directions for the development of the industry, taking into account the resource potential of the deposits, are substantiated.

**Conclusions.** The results show that when the state solves the task of increasing exports and entering the world market, the key objects of REM development will be the Tomtorskoye (Sakha Republic) and Zashikhinskoye (Irkutsk Region) fields, which are preparing for commissioning in 2025. On the other hand, the availability of reserves in the fields of the Murmansk region, including the Lovozerskoye field under development, will ensure that demand, including potential demand, for REM in the domestic market is met.

**Keywords:** rare earth metals, mineral resource base, REM deposits, reserves structure, demand for REM, export.

## REFERENCES

1. Yushina T. I., Petrov I. M., Grishaev S. I., Cherny S. A. 2015, The world market and technologies for processing rare earth metals: current state and prospects. *Gornyi Zhurnal* [Mining Journal], no. 2, pp. 59–64. <https://doi.org/10.17580/gzh.2015.02.11> (In Russ.)
2. Bryanceva O. S. 2022, The State and Development Opportunities of the Russian Rare Earth Industry in the Context of the Fourth Industrial Revolution. *Russian Economic Bulletin*, vol. 5, no. 6, pp. 264–271 (In Russ.)
3. 2022, Mineral Commodity Summaries. Reston, Virginia, U.S.A.: U. S. Geological Survey. URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-rare-earths.pdf>
4. 2021, On the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2020: The State report. Moscow, 572 p. URL: [https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/74a/GD\\_msb-2020.pdf](https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/74a/GD_msb-2020.pdf) (In Russ.)
5. Kalashnikov A. O., Konopleva N. G., Danilin K. P. 2023, Rare Earths of the Murmansk Region, NW Russia: Minerals, Extraction Technologies and Value. *Applied Earth Science*, vol. 132, issue 1, pp. 52–61. <https://doi.org/10.1080/25726838.2022.2153000>
6. Cherepovitsyn A. E., Dorozhkina I. P., Solov'eva V. M. 2024, Forecasts of Rare-earth Elements Consumption in Russia: Basic and Emerging Industries. *Studies on Russian Economic Development*, vol. 35, no. 5, pp. 688–696. <https://doi.org/10.1134/S1075700724700229>
7. Maksimova V. V., Krasavtseva E. A., Savchenko Y. E., Ikkonen P. V., Elizarova I. R., Masloboev V. A., Makarov D. V. 2022, Study of the composition and properties of the beneficiation tailings of currently produced loparite ores. *Zapiski Gornogo instituta* [Journal of Mining Institute], vol. 256, pp. 642–650. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.88> (In Russ.)
8. Dmitrieva D., Solovyova V. 2023, Russian Arctic Mineral Resources Sustainable Development in the Context of Energy Transition, ESG Agenda and Geopolitical Tensions. *Energies*, vol. 16, issue 13, article number 5145. <https://doi.org/10.3390/en16135145>
9. Balaram V. 2019, Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact. *Geo-science Frontiers*, vol. 10, issue 4, pp. 1285–1303. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.12.005>
10. Tsukanov D. V., Smirnova D. L., Petkova A. P., Shtertser V. V. 2024, Modeling of cooling mode during hardening of a large-sized rotor blank made of Cr–Ni–Mo–V steel. *Chernye Metally* [Ferrous Metals], no. 9, pp. 29–36. <https://doi.org/10.17580/chm.2024.09.05>
11. Aleksandrova T. N., Lushina E. A. 2024, Influence of an ionic composition of a sludge liquid phase on technological parameters of beneficiation. *Tsvetnye Metally* [Non-ferrous Metals], no. 8, pp. 13–20. <https://doi.org/10.17580/tsm.2024.08.02> (In Russ.)
12. Koroteev V. A., Ogorodnikov V. N., Polenov Yu. A., Savichev A. N. 2016, Rare and rare earth elements in kyanite ores of the Kola Peninsula and the Urals. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 3 (43), pp. 13–19. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2016-3-13-19> (In Russ.)

✉ Cherepovitsyn\_AE@pers.spmi.ru

 <http://orcid.org/0000-0003-0472-026X>

\*\*irinadorozhkina.99@gmail.com

 <http://orcid.org/0009-0009-9292-2064>

13. Ponomareva M. A., Cheremisina O. V., Mashukova Yu. A., Lukyantseva E. S. 2021, Increasing the efficiency of rare earth metal recovery from technological solutions during processing of apatite raw materials. *Zapiski Gornogo instituta* [Journal of Mining Institute], vol. 252. P. 917–926. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.6.13> (In Russ.)
14. Kalashnikov A. O., Konopleva N. G., Pakhomovsky Ya. A., Ivanyuk G. Yu. 2016, Rare Earth Deposits of the Murmansk Region, Russia – A Review. *Economic Geology*, vol. 111 (7), pp. 1529–1559. <https://doi.org/10.2113/econgeo.111.7.1529>
15. Malkova M. Yu., Zadiranov A. N., Zaya K., Dkhar P. 2020, Ore of the Tomtor rare-earth deposit for its industrial processing. *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1687, no. 1, article number 012038. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1687/1/012038>
16. Khokhulya M. S., Mukhina T. N., Ivanova V. A., Mitrofanova G. V., Fomin A. V., Sokolov V. D. 2016, Substantiation and development of an integrated technology for obtaining rare metal concentrates during deep ore processing of the Zashikhinsky deposit. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornykh nauk* [Fundamental and applied issues of mining], vol. 2, no. 3, pp. 284–290 (In Russ.)
17. Smirnov A. V., Sibilev A. S., Nechaev A. V., Spinu A. Y. 2017, Hydrometallurgical processing of columbite concentrate of the Zashikhinsky deposit. *Khimicheskaya tekhnologiya* [Chemical technology], vol. 18, no. 2, pp. 81–88 (In Russ.)
18. Semenova T., Martínez Santoyo J. Y. 2024, Increasing the Sustainability of the Strategic Development of Oil Producing Companies in Mexico. *Resources*, vol. 13, issue 8, pp. 1–36. Article number 108. <https://doi.org/10.3390/resources13080108>
19. Nguyen M. P., Ponomarenko T., Nguyen N. 2024, Energy Transition in Vietnam: A Strategic Analysis and Forecast. *Sustainability*, vol. 16, issue 5, pp. 1–20. Article number 1969. <https://doi.org/10.3390/su16051969>
20. Bortnikov N. S., Volkov A. V., Galyamov A. L., Vykentieva I. V., Lalomov A. V., Murashov K. Yu. 2022, Fundamental Problems of Development of the Mineral-Resource Base of High-Tech Industry and Energy of Russia. *Geology of Ore Deposits*, vol. 64, pp. 313–328. <https://doi.org/10.1134/S1075701522060022>

The article was received on October 30, 2024