

УДК 338  
ББК 65 (2Р5)  
Н 76

DOI 10.36264/978-5-89665-377-6-2023-013-528

*Рецензенты:*

академик РАН Эпов М.И.,  
академик РАН Бакланов П.Я.,  
д.э.н. Пляскина Н.И.

Н 76     **Новый импульс Азиатской России: источники и средства развития.** В 2-х томах. Т. 2 / под ред. В.А. Крюкова и Н.И. Суслова. – Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2023. – 528 с.

ISBN 978-5-89665-377-6

В монографии представлены детальные результаты работ ИЭОПП СО РАН по базовым проектам плана НИР ИЭОПП СО РАН: № 121040100280-1, № 121040100284-9, № 121040100278-8, № 121040100262-7. Одновременно работа рассматривается как второе издание и развитие другой «Новый импульс Азиатской России», опубликованной в 2022 г. при поддержке крупного научного проекта по приоритетным направлениям научно-технологического развития: «Социально-экономическое развитие Азиатской России на основе синергии транспортной доступности, системных знаний о природно-ресурсном потенциале, расширяющегося пространства межрегиональных взаимодействий». Содержание данной монографии представляет интерес для широкого круга исследователей в области экономики, магистрантов и аспирантов, работников органов власти и управления, чья деятельность связана с принятием решений в области политики развития федерального и регионального уровней.

УДК 338  
ББК 65 (2Р5)

ISBN 978-5-89665-377-6

© ИЭОПП СО РАН, 2023  
© Коллектив авторов, 2023

## Глава 16

### РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ: ГЛОБАЛЬНЫЕ ТРЕНДЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

#### 16.1. Анализ потенциала источников редкоземельных минерально-сырьевых ресурсов в мире

Согласно данным Геологической службы США, в настоящее время в мире насчитывается примерно 120 млн т доказанных запасов редкоземельных металлов (РЗМ)<sup>1</sup> по категории «Запасы» (Reserves)<sup>2</sup>, из которых в Китае находится 36,7%, во Вьетнаме – 18,3%, в России<sup>3</sup> и в Бразилии – 17,5%, и только 1,5% в США [61]. При этом та часть полезных ископаемых, которые могли быть интересны для добычи с экономической точки зрения на момент определения, меняется с течением времени в зависимости от экономических и институциональных условий (рис. 16.1).

---

<sup>1</sup> Редкоземельные металлы (РЗМ) или редкоземельные элементы (РЗЭ) представляют собой группу из 15 лантаноидов, имеющие порядковые номера от 57 до 71 (лантан, церий, празеодим, неодим, прометий, самарий, европий, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций), иттрий, иногда скандий (порядковые номера, соответственно, 39 и 21). РЗМ разделяют на три группы по их атомному весу: легкие (La, Ce, Pr, Nd), средние (Sm, Eu, Gd) и тяжелые (Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y) (в западной литературе часто делят на две группы: легкие (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu) и тяжелые (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y)). С учетом 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) [2]. В зарубежной литературе можно встретить следующие сокращения: REE – Rare Earth Elements, REM – Rare Earth Metals, RE – Rare Earths, TR – terrae rarae (латынь) – «редкие земли», LREE – light REE, HREE – heavy REE, TREO – Total Rare Earth Oxides.

<sup>2</sup> Согласно классификации минерально-сырьевых запасов и ресурсов США [60].

<sup>3</sup> Согласно национальной классификации минерально-сырьевых запасов и ресурсов по категориям А, В, С1 и С2 на Государственном балансе запасов полезных ископаемых Российской Федерации учтено 33 млн т (здесь и далее все цифры приведены в пересчете на оксиды РЗМ) на 2020 г., что соответствует доле 25% от общемировых запасов РЗМ [62].

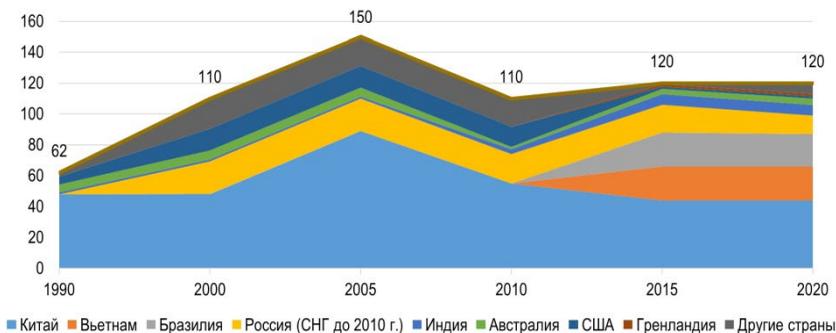


Рис. 16.1. Мировые запасы по категории «Запасы» (Reserves) согласно данным Геологической службы США в 1990–2020 гг., млн т

Примечание: Источник: [60].

Одно из лучших по своим характеристикам месторождений в мире – Mountain Pass (США, Калифорния) – с 1940 г. до середины 1980-х годов было ведущим производителем РЗМ. Но далее оно не смогло конкурировать с недорогими поставками РЗМ из Китая. С 1986 г. до сегодняшнего времени производство в Поднебесной сохраняет абсолютно лидирующую позицию. В 1990-е годы общее производство РЗМ в КНР резко выросло и с 2004 г. стало синонимом глобального производства [63].

После кризиса на рынке РЗМ в 2009–2010 гг., связанного со значительным сокращением экспортных квот со стороны Китая, глобальный спрос остался на высоком уровне (рис. 16.2). Чтобы удовлетворить его, в краткосрочном периоде высокотехнологичные страны Европы, Азии и Америки были вынуждены открыть доступ к стратегическим государственным запасам сырья [64–66].

Сложившиеся условия стали стимулом к росту нелегального производства редкоземельного сырья в Китае, которое было распространено в то время, и с которым активно начали бороться государственные власти в дальнейшем [64–66]<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Insightful reports and chartbooks. – URL: <https://www.adamasintel.com/reports> (дата обращения: 02.11.2022).

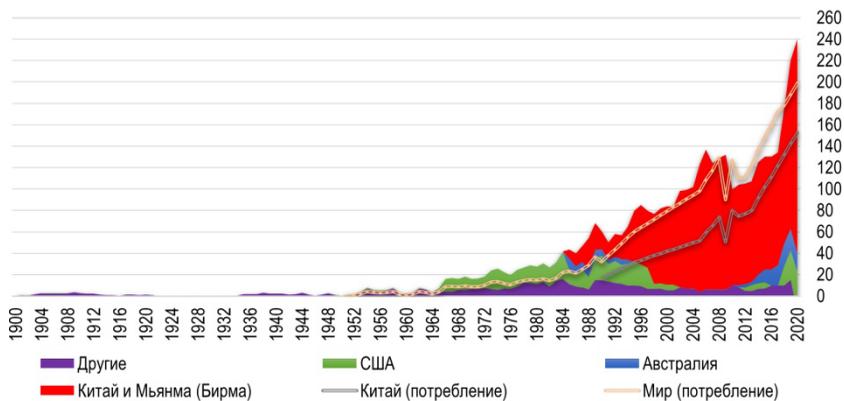


Рис. 16.2. Соотношение глобального производства и потребления РЗМ, 1900–2020 гг., тыс. т

Ключевым является тот факт, что неопределенность, связанная с монопольным положением Китая в отрасли и высокие цены в 2010–2011 гг. на критически важные РЗМ для высокотехнологичных отраслей промышленности, стала стимулом к появлению новых проектов освоения редкоземельных источников сырья по всему миру [62; 64; 67; 68].

Например, в 2011 г. австралийская компания «Lynas» начала добычу на месторождении Mountain Weld (Западная Австралия), откуда руда поставляется на современный завод «Lynas Advanced Materials Plant» в Малайзии для обогащения и производства редкоземельной продукции<sup>1</sup>. В настоящее время мощность производства РЗМ находится на уровне 20–21 тыс. т. Другой пример – восстановление добычи на месторождении Mountain Pass (США). В 2017 г. две американские инвестиционные группы – HL Capital Group LLC и QVT Financial LP – выкупили лицензию на месторождение. Для операционной деятельности была основана компания MP Materials, которая начала добычу и обогащение руды в 2018 г. и приблизилась к уровню 40 тыс. т РЗМ-продукции в 2020 г. (табл. 16.1)<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Твердые карбонаты (Ce и LaCe) или оксалаты РЗМ, оксиды NdPr, Ce, LaCe, а также оксид SmEuGd (Lynas operates in Australia and Malaysia. – URL: <https://lynasrareearths.com/about-us/locations> (дата обращения: 08.09.2022)).

<sup>2</sup> MP Materials owns and operates Mountain Pass, the only Rare Earth mining and processing site in North America. – URL: <https://mpmaterials.com/about> (дата обращения: 19.10.2022).

Таблица 16.1

**Мировое производство и резервы РЗМ в 2010–2020 гг., т**

Страна	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Китай*	112 000	105 000	105 000	105 000	120 000	132 000	140 000
Мьянма (Бирма)	—	—	—	—	5 000	25 000	31 000
Австралия	—	12 000	15 000	20 000	21 000	20 000	21 000
Россия	2 300	2 800	2 800	3 000	2 700	2 700	2 700
Мадагаскар	—	—	—	—	2 000	4 000	2 800
Бразилия	140	880	2 200	2 000	1 100	710	600
Тайланд	5 600	760	1 600	1 600	1 000	1 900	3 600
Индия	1 700	1 700	1 500	1 500	1 800	2 900	2 900
США	—	5 900	—	—	18 000	28 000	39 000
Другие страны	1 260	960	1 900	900	1 400	2 790	1 400
ИТОГО	123 000	130 000	130 000	134 000	174 000	220 000	245 000

\* Согласно китайским квотам на производство, которые не включают не-легальные поставки.

Вероятно, глобальный спрос всегда будет в будущем поддерживаться со стороны предложения за счет появления новых источников редкоземельного сырья. В пользу этой гипотезы говорит тот факт, что, согласно данным USGS, в мире выявлено порядка 800 редкоземельных месторождений и рудопроявлений на суше<sup>1</sup>, и нет сомнений, что это количество будет только увеличиваться в будущем.

Высокое значение имеют глубоководные породы и ил на дне юго-восточной и центральной частей Тихого океана, в которых по разным оценкам могут находиться сопоставимые, а, возможно, даже превышающие материковые, запасы РЗМ. Также высокотехнологичные страны мира стремятся к более рациональному использованию ресурсов и к экономике замкнутого цикла, что предполагает переработку продуктов конечного использования [64]<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Rare earth element mines, deposits, and occurrences. – URL: <https://mrddata.usgs.gov/ree> (дата обращения: 17.10.2022).

<sup>2</sup> The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. – URL: <https://www.ica.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions> (дата обращения: 05.10.2022).

Как итог, появление новых источников редкоземельного сырья будет зависеть от соотношения спроса и предложения на рынке РЗМ. Динамика на рынке определяется изменением цен на редкоземельную продукцию: высокие цены – стимул к появлению новых проектов освоения источников редкоземельного сырья, низкие цены – отказ в данный момент от реализации этих проектов.

Важно отметить, что при больших мировых ресурсах редкоземельных металлов (см. табл. 16.1), основная добыча и производство оксидов и индивидуальных РЗМ находятся в КНР. Сильная асимметрия мирового производства связана с геологической, экономической, политической и пространственной спецификой редкоземельных минерально-сырьевых ресурсов. Сегодня одним из преимуществ Китая является то, что концентраты, оксиды и индивидуальные РЗМ внутри страны существенно дешевле, чем в других странах мира. Это стало возможным благодаря терпеливой и грамотной политике нескольких поколений высших руководителей, начиная с Дэн Сяопина, которые сумели раскрыть потенциал богатой китайской минерально-сырьевой базы РЗМ.

В общем случае, при сравнении редкоземельных источников сырья, говорят о «стоимости корзины» полезных компонентов, предполагая среднюю стоимость РЗМ, которая будет получена из килограмма (или тонны) руды. Поэтому с экономической точки зрения вначале вовлекаются в разработку месторождения с самыми высокими концентрациями и большей стоимостью корзины полезных компонентов. Например, месторождения с относительно высокой долей лантана и церия экономически менее привлекательны, чем месторождения с диспрозием и иттрием, так как тяжелые РЗМ на мировом рынке стоят больше, чем легкие.

Поскольку редкоземельные руды являются комплексными и сложными по составу, а любой проект разработки и эксплуатации РЗМ-месторождения включает планы производства побочных продуктов, то технико-экономические расчеты являются сложными и подвержены большим погрешностям. Даже самые привлекательные месторождения могут оказаться нерентабельными. С другой стороны, РЗМ часто сами являются побочными компонентами добычи и переработки руды, и могут стать преимуществом в соответствующих проектах, в том чис-

ле извлечения РЗМ из отходов недропользования (вскрышные и вмещающие горные породы, шламы, хвосты обогащения полезных ископаемых и др.).

В целом на технико-экономические показатели и рентабельность проектов разработки и эксплуатации месторождений с редкоземельными видами минерально-сырьевых ресурсов также оказывают влияние множество других факторов, среди которых основными являются следующие.

◇ *Первоначальные капитальные затраты*, необходимые для разработки и эксплуатации таких месторождений, являются одним из важнейших факторов. Так как интервал времени от геологоразведочных работ до ввода в эксплуатацию такого месторождения может составить более 10–15 лет, то высокие капитальные затраты являются большим инвестиционным риском и большим барьером для начала финансирования освоения нового месторождения.

◇ *Геологические свойства месторождений*, в совокупности с предлагаемыми *технологиями добычи и обогащения* полезных компонентов, являются еще одним важным фактором. Это связано с тем, что горнодобывающие и перерабатывающие руду компании тратят значительное время и средства на исследования, разработку и оптимизацию процессов вдоль всей производственной цепочки. Например, выбор метода добычи: открытый, подземный или выщелачивание, а также необходимое количество электрической энергии и реактивов для добычи и обогащения руды, часто имеют решающее значение для рентабельности. При этом технико-экономические показатели всегда будут отличаться в разных проектах освоения таких источников.

◇ Другими важными факторами, влияющими на экономику и рентабельность проектов, являются *пространственное расположение источников сырья и наличие инфраструктуры*. Понятно, что удаленные и изолированные месторождения от инфраструктуры менее привлекательны для инвесторов, так как присутствие вблизи транспортной системы, электрических сетей, водоснабжения, канализации, доступа к квалифицированной рабочей силе и т.д., серьезно снижают эксплуатационные издержки и сильно влияют на первоначальные капитальные расходы.

◇ Необходимо также отметить важное значение геологоразведочных работ на перспективных рудных участках, так как новые знания о пространственном расположении участка, его геологии, эффективным методе добычи, необходимой инфраструктуре (и т.д.) позволяют перспективному рудному участку получить статус «месторождения». Именно развитие знаний в области ГРП позволит в будущем дать новые потенциальные источники РЗМ, как, например, из глубоководных отложений и ила мирового океана.

## 16.2. Анализ глобальных цепочек производства РЗМ

### \* *Китай*

Сегодня глобальное производство редкоземельной продукции является синонимом производства в Китае. Это произошло благодаря тому, что китайские государственные руководители в 1970–1980 гг. осознали важность редкоземельных элементов и технологий, связанных с ними; поэтому в эти годы была значительно снижена фискальная нагрузка на предприятия по всей производственной цепочке от добычи. В 2000-х годах были введены пошлины на экспорт продуктов первых переделов, всегда осуществлялась финансовая государственная поддержка отрасли и практически полностью отсутствовало экологическое регулирование [64; 69; 70].

В итоге с конца 1970-х годов произошел бурный рост производства и падение цен на РЗМ не только в Китае, но и во всем мире. Такая ситуация привела к тому, что многие проекты освоения редкоземельных источников сырья по всему миру, в том числе месторождений, были приостановлены или вовсе ликвидированы, что, в свою очередь, привело к незначительной конкуренции со стороны производителей из других стран и монополии Китая.

Обратной стороной такой политики КНР стали: неэффективное и бесконтрольное производство с низким уровнем переработки редкоземельной руды вплоть до 2000-х годов (уровень переработки менее 10% [70]); быстрый темп истощения месторождений; серьезные экологические проблемы. Поэтому в 2005 г. КНР ввел

запрет на экспорт концентратов и отменил скидку на экспортную пошлину, что заставило многие мировые высокотехнологичные компании перенести производство в Китай, а с ними и технологии. В период 2006–2010 гг. Министерство Торговли Китая непрерывно снижало квоту на экспорт редкоземельной продукции, что привело к падению производства товарной продукции на четверть к 2013 г. [64; 70].

С 2005 г. власти Китая начали трансформацию редкоземельной промышленности, чтобы получить контроль над этой стратегической отраслью. Предвидя решение ВТО в 2014 г., они начали консолидацию отрасли и повышение ее эффективности за счет объединения более 200 официально зарегистрированных компаний по добыче и переработке РЗМ в 6 вертикально-интегрированных государственных корпораций, которая продолжается в настоящее время.

Сегодня производство в Китае стабилизировалось (см. табл. 16.1). Дополнительно этому способствовало то, что был создан государственный стратегический резерв РЗМ (более 30 тыс. т только в 2012 г. [64]) в виде продуктов разных переделов: от концентратов до индивидуальных металлов, началась активная борьба с незаконной добычей и переработкой редкоземельной руды и регулирование охраны окружающей среды.

Китай продолжает консолидацию значительной части последующих стадий производственной цепочки – получение оксидов, индивидуальных РЗМ и сплавов на их основе, что способствует еще большей локализации добавленной стоимости. Об этом свидетельствует статистика Геологической службы США – доля добычи редкоземельных руд в Китае сократилась с 97 до 58% за период 2005–2020 гг., при этом доля потребления РЗМ-продукции увеличилась с 53 до 72% за тот же период [61]. По нашим оценкам, в денежном выражении объем рынка концентратов, оксидов и индивидуальных РЗМ сегодня составляет 8–12 млрд долл., а рынок высокотехнологичной продукции и товаров, для производства которых необходимы РЗМ – 1,8–2,2 трлн долл. В Китае объемы этих рынков оцениваются в 4–6,5 млрд долл. и в 1,3–1,7 трлн долл. соответственно.

Несмотря на тенденцию консолидации редкоземельных производственных цепочек Китаем, как упоминалось выше, значительный спрос на критически значимые РЗМ для высокотехнологичных областей промышленности стимулирует появление новых фрагментов вне Китая. Например, существует большая вероятность того, что в ближайшие годы в Австралии появится крупный редкоземельный производственный комплекс, в США возобновилась добыча на Mountain Pass (Калифорния), а также имеется высокий потенциал у проектов освоения редкоземельных источников сырья в Канаде, Гренландии, Африке и России.

Одновременно с этим наметилась тенденция встраивания китайских компаний в эти проекты с целью осуществления импортных, экспортных и иных торговых операций с редкоземельным сырьем и продукцией. В настоящее время в центре этой стратегии находится китайская компания «Shenghe Resources»<sup>1</sup>, деятельность которой охватывает всю цепочку производства: от добычи руды до производства наукоемких сплавов на основе РЗМ. Она основала совместное предприятие с государственной корпорацией «China National Nuclear Corporation» (CNNC) для освоения крупных редкоземельных месторождений по всему миру и импорта сырья с низкой добавленной стоимостью в Китай, в том числе содержащего уран и торий, которые в будущем могут использоваться в атомной промышленности<sup>2</sup>.

Перечислим также некоторые наиболее важные факты участия Компании «Shenghe Resources» в зарубежных проектах:

– является миноритарным акционером (около 10% акций) австралийской компании «Greenland Minerals», планирующей разрабатывать крупное и перспективное месторождение Kvanefjeld

---

<sup>1</sup> «Shenghe Resources» (URL: <http://shengheholding.com>) является дочерним предприятием China Geological Survey (URL: <https://en.cgs.gov.cn>), которое имеет аффилиацию с одной из шести компаний Aluminum Corporation of China (URL: <http://www.chalco.com.cn>), доминирующих в китайской редкоземельной промышленности.

<sup>2</sup> A Chinese rare earths giant is building international alliances worldwide. – URL: <https://qz.com/1971108/chinese-rare-earths-giant-shenghe-is-building-global-alliances> (дата обращения: 20.10.2022).

в Гренландии (проект находится на стадии консультаций с общественностью по социальным и экологическим вопросам);

– инвестировала (принадлежит 8% акций) в компанию «MP Materials», которая ведет добычу на месторождении Mountain Pass, и является единственным покупателем получаемого на месторождении концентрата РЗМ;

– подписала меморандум о взаимопонимании с австралийской компанией «RareX», в рамках которого китайская компания получит контрольный пакет в проекте освоения редкоземельного месторождения Cummins Range (Западная Австралия).

Это подтверждает тот факт, что Китай ищет новые подходы к глобальным цепочкам поставок и производства РЗМ-продукции, в рамках которых развивает стратегию консолидации в зарубежных проектах, чтобы гарантировать стабильные поставки РЗМ-сырья с низкой добавленной стоимостью для национальной промышленности. Это особенно важно в условиях того, что Китай становится нетто-импортером, а РЗМ имеют ключевое значение для производства новых высокотехнологичных продуктов: особенно в электронике, электромобилях, «зеленой энергетике» и военно-промышленном комплексе.

Также Китай продолжает долгосрочную политику строгого регулирования внутреннего производства и экспорта РЗМ-продукции. В рамках борьбы с незаконной добычей и негативным воздействием на экологическую среду страна переносит наименее ценные и наиболее экологически вредные фрагменты производства (добычу и первоначальное обогащение РЗМ-сырья до концентратов) в другие страны и на шельф. Это делается с целью получить максимальную прибыль от последних стадий производства высокотехнологичной продукции, для которых необходимы РЗМ, внутри национальных отраслей промышленности. Другими словами, Китай перестал монополизировать каждый фрагмент производственной цепочки, а начал монополизировать только последние стадии с высокой добавленной стоимостью: оксиды, металлы и сплавы, в том числе для производства постоянных неодимовых магнитов. Причем технологии добычи и обогащения тиражируются на другие проекты по всему миру.

\* Австралия

Сегодня главным производителем РЗМ продукции в Австралии является компания «Lynas» (табл. 16.2), которая ведет добычу на месторождении Mountain Weld и за последние 10 лет вышла на уровень 20–21 тыс. т. Полученный концентрат на заводе «Mt Weld Concentration Plant» (Австралия) отправляют в промышленный порт в Kuantan (Малайзия) морским путем, откуда он поставляется на современный завод «Lynas Advanced Materials Plant», где получают твердые карбонаты (Ce и LaCe) или оксалаты РЗМ, оксиды NdPr, Ce, LaCe, а также оксид SmEuGd (SEG). Основные покупатели продукции компании Lynas находятся в Японии, Европе, Китае и США [71].

Таблица 16.2

**Оценки рыночной капитализации и ресурсов  
международных компаний и проектов  
по разработке редкоземельных элементов**

Компания	Проект	Рыночная капитализация (оценка)	Оценка запасов			Производство	Стоимость 1 т	Годовое производство
			Запасы	Содержание TREO <sup>1</sup>				
				млн т	%			
млн долл.	млн т	%	тыс. т	тыс. т/год	долл./т	тыс. долл./т		
Arafura	Nolans	16	56	2,6	1 460	14	11	1,1
Greenland	Kvanefjeld	72	122	1,4	1 710	29	42	3
Hastings	Yangibana	32	17	1,3	216	8	148	4
Lynas	Mt Weld	262	24	7,9	1 890	22	138	12
Northern	Browns Range	42	9	0,63	57	5	740	8
Serra Verde	Serra Verde	—	911	0,12	1 093	26	—	—
Peak	Ngualla	18	42	4,2	1 760	10	10	2

Примечание: Tantalus rare earths ionic clay project. – URL: <https://links.sgx.com/FileOpen/BDA%20TREM%20Project%20Valuation%20for%20ISR%20-%20September%202017%20-%20Final.ashx?App=Announcement&FileID=471590> (дата обращения: 23.10.2022)

<sup>1</sup> Total rare earth oxides.

С момента первой поставки РЗМ-продукции в 2013 г. компания существенно расширила свои технологические возможности, построив одну из самых крупных на сегодня некитайскую цепочку производства и поставок РЗМ в мире. В настоящее время идет перенос и локализация такого фрагмента производственной цепочки, как операция выщелачивания, из Малайзии в Австралию. Одновременно с этим компания подписала соглашение с Правительством США и американской компанией «Blue Line Corporation» (г. Хондо, Техас) с целью создания завода по разделению концентрата легких РЗМ мощностью 5 тыс. т в год до уровня оксидов и других соединений, в том числе 1,25 тыс. т в год соединения NdPr.

Для реализации этих и других планов компания Lynas совместно с правительством Японии выработали специальную схему финансово-кредитной поддержки – JARE (Japan Australia Rare Earths loan facility.), которая предполагает выделение 500 млн долл. с обязательством поставок РЗМ по заниженным ценам японским компаниям-потребителям в период до 2038 г. (в том числе соединения NdPr в объеме 7,2 тыс. т ежегодно) [71].

Также в Австралии существует ряд проектов освоения источников редкоземельного сырья на уровне предварительного технико-экономического обоснования – опытного производства:

- компания «RareX» планирует осуществлять добычу и обогащение на месторождении Cummins Range (см. табл. 16.2);

- компания «Arafura Resources» – на стадии предварительного проектирования инфраструктуры и технологии добычи РЗМ на месторождении Nolans Bore,

- «Hastings Technology Metals» сконцентрировала свои усилия на двух месторождениях – Yangibana и Brockman,

- «Northern Minerals» запустила опытное производство на месторождении Browns Range,

- компания «Australian Strategic Materials» получила все необходимые государственные разрешения для строительства опытного производства на месторождении Dubbo,

– компания «Iluka Resources» получила поддержку правительства Австралии на развитие перерабатывающих мощностей для цирконий-монацитового проекта Eneabba (Западная Австралия) и других проектов в будущем уровня Wimmera Mineral Sands (Западная Виктория)<sup>1</sup>.

*\* США и Канада*

Высокий спрос на критически значимые РЗМ стимулирует появление новых производств и создание новых цепочек поставок и в США. По нашим оценкам, доля потребления РЗМ в США составляет около 7% от общемировой<sup>2</sup>, поэтому при поддержке правительства в стране планируется разместить downstream-фрагмент цепочки производства австралийской компании «Lynas».

Компания «MP Materials» возобновила добычу на месторождении Mountain Pass<sup>3</sup> (Калифорния, США) в 2017 г., достигнув уровня 39 тыс. т в 2020 г. [(см. табл. 16.2)].

Также американская компания «Energy Fuels» и канадская компания «Neo Performance Materials» заключили соглашение, согласно которому другая американская химическая компания «Chemours» будет поставлять 2,5 тыс. т монацитового песка на обогатительное предприятие «White Mesa» (штат Юта) компании «Energy Fuels», где будет извлекаться уран и производиться карбонаты РЗМ. Затем этот промежуточный продукт планируется направлять на завод «Neo Performance Materials» – «Silment» (Эстония). Если опытное производство будет успеш-

---

<sup>1</sup> Rare Earths: Developing projects aim to reduce China's rare earth dominance. – URL: <https://roskill.com/news/rare-earths-developing-projects-aim-to-reduce-chinas-rare-earth-dominance> (дата обращения: 19.10.2022).

<sup>2</sup> Также, по нашим оценкам, доля потребления РЗМ в Японии – 13%, в ЕС – 5%, остальных стран – не более 3%.

<sup>3</sup> Одно из крупнейших и старых редкоземельных месторождений в мире, которое с 1919 г. по 1974 г. осваивала компания «Molybdenum Corporation of America», с 1974 г. по 2014 г. – компания «Molycorp», с 2014 г. по 2016 г. – компания «Neo Material Technologies». С середины 1980-х годов продукция на основе сырья не смогла конкурировать с недорогими поставками РЗМ из Китая, а с ужесточением экологических норм и требований к производству и переработке минерально-сырьевых ресурсов в США месторождение Mountain Pass было закрыто и законсервировано с начала с 2002 г. по 2010 г., а затем с 2016 г. по 2017 г.

ным, то планируется увеличить поставки монацитового песка до 15 тыс. т в год<sup>1</sup>.

С 2021 г. австралийская компания «Vital Metals» начала добычу на месторождении Nechalacho в Канаде и к 2025 г. планирует выйти на уровень 5 тыс. т в год РЗМ-сырья (в пересчете на оксиды). Последующую переработку и обогащение планируется проводить на опытном производстве «Saskatchewan Research Council» в городе Саскатун (Канада). Также компания «Vital Metals» ведет переговоры с Правительством Танзании о выдаче лицензии на добычу полезных ископаемых на месторождении Wigu Hill недалеко от города Кисаки.

#### *\* Африка*

Африка имеет высокий редкоземельный минерально-сырьевой потенциал, поскольку на текущий момент выявлено 13 месторождений, на которых проведены предварительные ТЭО или/и сделаны экономические оценки, а на двух уже начато опытное производство редкоземельных концентратов [72].

Английская компания «Rainbow Rare Earths» начала пилотную добычу руды на перспективном месторождении Gakara в Бурунди, и планирует выйти на мощность более 10 тыс. т концентрата в год к 2023 г. с дальнейшим расширением производственной цепочки до уровня оксидов РЗМ к 2025 г. Также компания запустила опытное производство для выделения редкоземельных элементов из гипсовых отвалов, которые были накоплены на производстве фосфорной кислоты компанией «Sasol» (г. Фалаборва в Южной Африке) [73].

Согласно данным Геологической службы США, с 2018 г. началась добыча ион-адсорбирующих глин на острове Мадагаскар в восточной части полуострова Ампасиндава – сингапурская инвестиционная компания «Reenova Investment Holding» (ранее «ISR Capital») начала осваивать месторождение Tantalus. Для этих целей было заключено соглашение с китайской компанией

---

<sup>1</sup> Rare earths: Neo Performance Materials and Energy Fuels announce USA-European production initiative. – URL: <https://roskill.com/news/rare-earths-neo-performance-materials-and-energy-fuels-announce-usa-european-production-initiative> (дата обращения: 11.10.2022).

«Foreign Engineering and Construction Co»<sup>1</sup> сроком на три года до конца 2021 г., согласно которому китайская компания получает приоритетное право на проектирование и строительство на месторождении, возможность инвестировать в акционерный капитал и право закупать не менее 3 тыс. т РЗМ-сырья в год. Следующим шагом освоения месторождения будет получение полной лицензии на добычу полезных ископаемых с выходом на мощность около 10 тыс. т в год<sup>2</sup>.

*\* Бразилия и Индия*

В Бразилии идет добыча в основном за счет двух источников. Компания «Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração» (CBMM) получает концентрат из монацитово-руды, как побочный продукт добычи и переработки ниобиевого месторождения в городе Агахá (штат Minas Gerais). Компания «Mineracao Serra Verde» осваивает месторождение ионных глин Serra Verde в центральной части Бразилии (см. табл. 16.2), которое во многом похоже на месторождения Южного Китая и Tantalus на Мадагаскаре. Проект проходит стадию получения лицензии на добычу полезных ископаемых, завершение строительства инфраструктуры и оптимизацию производственной линии с проектной мощностью 26 тыс. т в год<sup>3</sup>.

В Индии добычей и отделением песчаных минералов занимается государственная компания «Indian Rare Earths Limited» (IREL) под управлением Департамента атомной энергии (Department of Atomic Energy) в южной части страны в Aluva, Chavara (штат Kerala), Manavalakurichi (штат Tamilnadu) и на перспективном месторождении Orissa в Chatrapur (штат Odisha)<sup>4</sup>. Согласно данным Геологической службы США, в Индии добывают порядка 2–3 тыс. т РЗМ-сырья (см. табл. 16.1). Однако в ближай-

---

<sup>1</sup> Дочерняя компания China Nonferrous Metal Mining (CNMC).

<sup>2</sup> Madagascar rare earth concession. – URL: <https://reenovagroup.com/investment-portfolio> (дата обращения: 02.10.2022).

<sup>3</sup> Tantalus rare earths ionic clay project. – URL: <https://links.sgx.com/FileOpen/BDA%20TREM%20Project%20Valuation%20for%20ISR%20-%20September%202017%20-%20Final.ashx?App=Announcement&FileID=471590> (дата обращения: 23.10.2022).

<sup>4</sup> В стране находится почти 35% общемировых песчаных месторождений.

шем будущем на базе IREL планируется создать вертикально-интегрированную компанию и увеличить производственные мощности, чтобы включить фрагменты производственной цепочки с высокой добавленной стоимостью со стороны «downstream».

*\* Россия*

Среди стран БРИКС Россия так же, как Индия и Бразилия, обладает высоким редкоземельным минерально-сырьевым потенциалом. Однако отсутствие достаточных объемов спроса на редкоземельное сырье на внутреннем рынке не создает стимулов и необходимых условий для развития комплексных технологий производства продукции до уровня оксидов и индивидуальных РЗМ. В этом контексте показателен пример России с точки зрения трансформации от полной и независимой производственной цепочки, действовавшей во времена СССР, к уровню отдельных фрагментарных ее частей.

*\* Европейский союз*

В странах ЕС не такой высокий редкоземельный минерально-сырьевой потенциал (рис. 16.3, табл. 16.3), однако присутствуют крупные высокотехнологичные компании, для производства продукции которых необходимы РЗМ. Они могут ориентироваться на выпуск высокотехнологичной продукции: оксиды и индивидуальные РЗМ, сплавы на их основе, постоянные магниты с разными механическими и магнитными свойствами, катализаторы, полирующие порошки, люминофоры, керамика и т.д.

Например, покупка *французской химической компании Rhodia* в 2011 г. превратило глобальную бельгийскую компанию Solvay в одного из самых современных и высокотехнологичных производителей редкоземельной продукции. Сегодня мощности завода Solvay La Rochelle (Франция), предназначенные исключительно для переработки и разделения РЗМ. Этот завод способен перерабатывать и разделять как легкие, так и тяжелые РЗМ с максимальной выходной мощностью отдельных РЗМ до 10 тыс. т в год.

Помимо переработки и разделения РЗМ на заводе занимаются производством высокотехнологичных передовых редкоземельных сплавов для других предприятий производственной

цепочки компании Solvay. В частности, катализаторов на основе лантана и церия для автомобильной отрасли, люминофоров на основе тяжелых РЗМ для электроники, полировальных порошков для оптики и т.п.

В настоящее время завод использует не все мощности, поэтому потенциально может перерабатывать несколько тысяч тонн редкоземельного сырья дополнительно<sup>1</sup>. В 2012 г. компания Solvay ввела дополнительные мощности во Франции (завод Rhône-Alpes) помимо завода La Rochelle для переработки таких продуктов с истекшим сроком службы, как энергосберегающие лампы, батареи и магниты, благодаря собственным разработкам, исследованиям и новым знаниям<sup>2</sup>.

Другой крупной компанией в Европе, которая занимается разделением РЗМ с 1898 г., является *австрийская компания Treibacher Industrie AG*. Благодаря длительной истории и опыту компания, с одной стороны, смогла наладить цепочку поставок сырья, с другой – выстроить надежные связи с клиентами, предлагая им продукцию высокого качества, в том числе адаптированную под их нужды. Treibacher Industrie AG предлагает широкий спектр выпускаемой продукции: керамические материалы, металлы и сплавы, накопители энергии, катализаторы и РЗМ (от растворов и солей до оксидов и чистых металлов).

Также в компании уделяется особое внимание вторичной переработке катализаторов и отходов производства, содержащих ванадий, молибден и никель. Treibacher Industrie AG несколько десятилетий является ведущим мировым игроком в области химии и металлургии не только в ЕС, но и в мире. Предприятия компании находятся в Австрии (Арнольдштейн), Германии (Брайтунген), Канаде (Торонто), Китае (Шанхай), Японии (Токио), штаб-квартира располагается в Альтофене (Австрия)<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> Chemical categories. – URL: <https://www.solvay.com/en/chemical-categories> (дата обращения: 30.10.2022).

<sup>2</sup> Solvay launches its rare earth recycling activity in France. – URL: [https://www.solvay.com/en/media/press\\_releases/20120927-coleopterre.html](https://www.solvay.com/en/media/press_releases/20120927-coleopterre.html) (дата обращения: 30.10.2022).

<sup>3</sup> Treibacher company. – URL: <https://www.treibacher.com/en/company.html> (дата обращения: 05.10.2022).

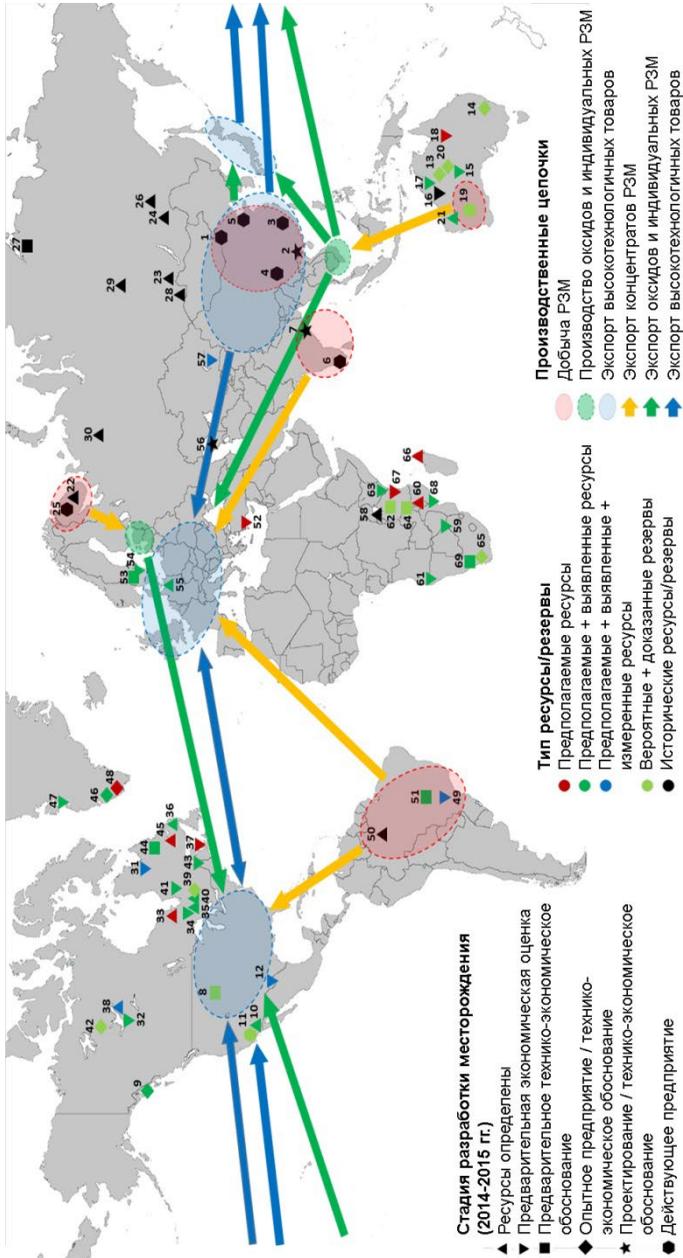


Рис. 16.3. Перспективные редкоземельные проекты с разными стадиями разработки

Таблица 16.3

## Перспективные редкоземельные месторождения мира

Страна	№	Месторождение	Страна	№	Месторождение
1	2	3	4	5	6
Китай	1	Bayan Obo	Канада	31	Ashram
	2	Dong Pao		32	Buckton & Buckton South
	3	Ganzhou		33	Clay-Howells
	4	Maoniuping		34	Eco Ridge
	5	Weishan		35	Elliot Lake
Индия	6	Kerala		36	Foxtrot
	7	Orissa		37	Grande-Vallée
США	8	Bear Lodge		38	Hoidas Lake
	9	Bokan-Dotson		39	Kipawa
	10	La Paz		40	Lavergne-Springer
	11	Mountain Pass		41	Montviel
	12	Round Top		42	Nechalacho
Австралия	13	Browns Range	43	Niobec	
	14	Dubbo Zirconia Project	44	Strange Lake	
	15	Charley Creek	45	Two Tom	
	16	Cummins Range	Гренландия	46	Kvanefjeld
	17	Hastings		47	Sarfartoq
	18	Milo		48	TANBREEZ
	19	Mount Weld	Бразилия	49	Araxá
	20	Nolans Bore		50	Pitinga
21	Yangibana	51		Serra Verde	
Россия	22	Хибинская группа:	Европа	52	Aksu Diamas
		– Коашвинское		53	Norra Kärr
		– Ковдорское		54	Olserum
		– Кукисумчорское		55	Storkwitz
		– Ньюклахское	Казахстан и Киргизия	56	Aktau
		– Олений ручей		57	Kutessay II
		– Партомчорское	Африка	58	Gakara
		– Плато Расвумчорр		59	Glenover
		60		Kangankunde	

Продолжение таблицы 16.3

1	2	3	4	5	6
		– Юкспорское		61	Lofdal
		– Апатитовый цирк		62	Ngualla
	23	Белозиминское		63	Mrima Hill
	24	Катугинское		64	Songwe
	25	Ловозерское		65	Steenkampskraal
	26	Селигдарское		66	Tantalus
	27	Томторское		67	Wigu Hill
	28	Улуг-Танзек		68	Xiluvo
	29	Чуктуконское		69	Zandkopsdrift
	30	Ярегское			

Также стоит отметить одного из лидеров в области переработки и разделения РЗМ – *английскую компанию Less Common Metals*, которая занимается производством сложных редкоземельных сплавов и чистых металлов. Компания LCM является частью производственной цепочки в Европе. Продукция компании является основой для выпуска Nd-Fe-B и Sm-Co сплавов для постоянных магнитов, магнитооптических и магнитострикционных материалов, систем хранения водорода и т.д. Less Common Metals является дочерним предприятием канадской группы Great Western Minerals Group, которая поставляет монацитовый концентрат месторождения Steenkampskraal севернее Cape Town (Южная Африка)<sup>1</sup>.

*Выводы.* К настоящему моменту в мировой редкоземельной промышленности сформировалась такая система и условия, при которых компании по всему миру со стороны «downstream» вынуждены переносить свои мощности в Китай, для того чтобы диверсифицировать риски поставок сырья для своего производства и сократить логистическое плечо для поставок готовой продукции потребителям (которые также в большинстве случаев располагаются в Китае).

Например, такие компании, как Neo Performance Materials, австрийская компания Treibacher Industrie AG и многие другие,

<sup>1</sup> Profile. – URL: <http://www.lesscommonmetals.com/profile> (дата обращения: 11.10.2022).

являются крупнейшими в мире производителями высокотехнологичной продукции на основе РЗМ и инновационных материалов (керамические материалы, металлы и сплавы, накопители энергии, катализаторы и т.д.). Однако и эти компании вынуждены были разместить значительные производственные мощности и офисы продаж в Китае и в странах Азиатско-Тихоокеанского региона (Тайланд, Сингапур, Япония и Южная Корея).

### 16.3. Формирование и динамика мирового спроса на РЗМ

РЗМ используют в высокотехнологичной продукции в виде смешанных (природных) соединений или в виде оксидов и индивидуальных металлов (рис. 16.4). Они могут применяться как вспомогательные элементы (т.е. РЗМ используют в производственном процессе, но в конечном продукте они не содержатся). Например, легкие РЗМ применяются в полировальных порошках в стекольной и электронной промышленности, в катализаторах каталитического крекинга нефти и в других химических процессах. Также РЗМ применяются как легирующие добавки, которые значительно улучшают характеристики конечной продукции.

РЗМ играют одну из ключевых ролей для декарбонизации глобальной экономики, поскольку неодимовые магниты<sup>1</sup> являются неотъемлемой частью электродвигателей, турбин, перезаряжаемых батарей, автокатализаторов, используемых для очистки выхлопных газов автомобилей; они используются для производства люминофоров, специализированных сплавов, оптики, керамики и т.д. [64; 70]<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> В 1985 г. американская компания «General Motors», работая совместно с японской компанией «Sumitomo Special Metals», запатентовала соединение  $Nd_2Fe_{14}B$ . В 1986 г. была открыта компания «Magnequench», которая специализировалась на производстве неодимовых магнитов. Позже «Magnequench» стала частью американской компании «Molycorp» (после банкротства в 2014 г. была выкуплена компанией «Neo Material Technologies»), а «Sumitomo Special Metals» – частью японской компании «Hitachi Corporation», которая сегодня обладает более чем 600 патентами, связанными с производством неодимовых магнитов методом спекания, и лицензирует многочисленные производства по всему миру.

<sup>2</sup> The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. – URL: <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions> (дата обращения: 05.10.2022).

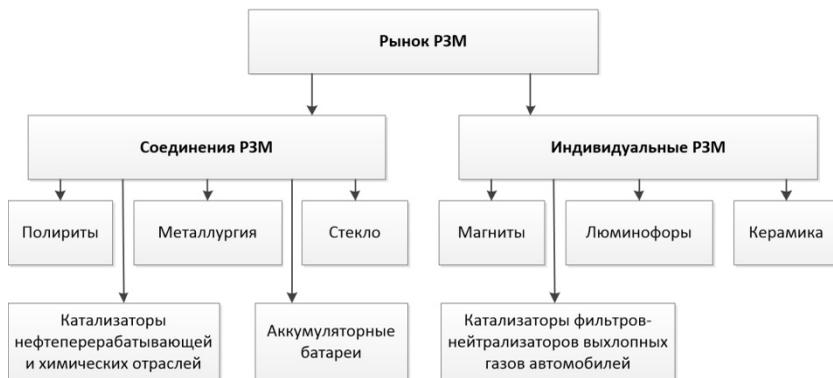


Рис. 16.4. Области применения РЗМ и соединений с ними

Важно отметить, что все редкоземельные месторождения сильно различаются по удельному распределению металлов, которые обычно не соответствуют требуемому спросу и его динамике, предъявляемым глобальным рынком РЗМ.

Это связано с одной из особенностей редкоземельных металлов – балансовой проблеме или проблеме балансирования РЗМ (balancing problem) [74]. Суть проблемы заключается в том, что добытая руда на месторождении полностью перерабатывается на первых этапах обогащения в концентрат без остатков и не селективно. Такое «естественное связывание» РЗМ приводит к избыточному предложению части редкоземельных элементов и, соответственно, снижению цен на них. С другой стороны, на дефицитные РЗМ предъявляется повышенный спрос со стороны рынка высокотехнологичных продуктов, содержащих РЗМ, что приводит к повышению цен на них, поэтому избыточные РЗМ по спросу неявно субсидируются за счет дефицитных. Из-за объемов потребления эта проблема больше относится к легким РЗМ, чем к тяжелым.

Как упоминалось выше, в денежном выражении объем рынка концентратов, оксидов и индивидуальных РЗМ сегодня составляет 8–12 млрд долл., а рынок высокотехнологичной продукции и товаров, для производства которых необходимы РЗМ – 1,8–2,2 трлн долл. Причем с развитием научно-технологического прогресса глобальный спрос на РЗМ не только перманентно рас-

тет, но и может резко менять свою структуру (например, с появлением инновационной технологии или продукта, для которых потребуется новый уникальный состав РЗМ), тем самым выводя рынок из равновесия.

Подтверждением является тот факт, что в истории становления мировой редкоземельной промышленности идет третья эра – эра неодимовых магнитов.

Конечно, практическое использование РЗМ началось еще в конце XIX века, когда соединения РЗМ начали применять в производстве газонакалильных сеток для осветительных газовых и керосиновых фонарей (сетки изготавливали из  $\text{ThO}_2$  с добавкой 1% оксида церия)<sup>1</sup>. Однако бурный прогресс в этой области начался лишь с эры европия для телевизионных экранов в 1960-х годах. Затем началась эра самария (1970–1980 гг.), когда на смену ферритовым пришли самарий-кобальтовые постоянные магниты ( $\text{SmCo}_5$ ,  $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ ), разработанные в лаборатории Air Force Material Research (США).

В настоящее время доля рынка таких магнитов составляет менее 2%, чего не скажешь о диспрозии и неодиме, которые не имели промышленного значения до середины 1980-х годов, когда было обнаружено соединение  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ . С этого времени началась новая эра в производстве постоянных магнитов. Эпохи европия и самария длились 10–20 лет, а эпоха ныне дефицитных неодима и диспрозия продолжается уже более 30 лет, и сегодня никто не скажет, сколько она еще продлится [74].

Каждая эпоха формирует уникальную структуру высокотехнологичных отраслей промышленности, в которых для производства продукции необходимы РЗМ (рис. 16.4). Например, за период 2000–2020 гг. значительно увеличилась доля доминирующей области потребления РЗМ – производство неодимовых магнитных материалов, а доли таких областей, как производство люминофоров, стекла и оптики – сократились, доли других областей потребления остались на одном уровне. Поэтому рассмотрим структуру мирово-

---

<sup>1</sup> Карл Ауэр фон Вельсбах открыл яркое свечение оксидов церия и других РЗЭ при высоких температурах в 1885 г.; доказал, что дидим является смесью неодима и празеодима; изобрел искусственный кремний для зажигалок, состоящий из мишметалла и цериево-железного сплава. Основал в 1900 г. большую химическую лабораторию на металлургическом заводе в городе Трайбах (Австрия), на основе которого возникла компания Treibacher Industrie AG.

го потребления РЗМ по областям применения, которые в настоящее время формируют спрос и влияют на его динамику.

*Неодимовые магниты (в основном неодим и празеодим).* Цифровая электроника и возобновляемая энергетика являются самыми крупными сегментами мирового производства высокотехнологичных видов продукции, в которых используются индивидуальные РЗМ. Это значит, что ежегодно требуется значительное количество постоянных  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  магнитов, для производства которых необходимы неодим и празеодим. Среди тяжелых РЗМ главным драйвером является диспрозий, который используется для повышения температурных характеристик и защиты от размагничивания неодимовых магнитов.

Сегодня доля Китая в производстве неодимовых магнитов, по разным оценкам, составляет от 80% до 85% мирового производства, доля Японии – около 10%, и, соответственно, доля других стран, в том числе США и ЕС, – не более 10% [64; 70; 75]. Это самая крупная и наиболее быстро растущая область потребления РЗМ, при этом на каждом этапе производственной цепочки неодимовых магнитов присутствует большое количество китайских компаний. Как упоминалось выше, часть иностранных компаний также находится в китайском сегменте производства оксидов и индивидуальных РЗМ.

По нашим оценкам, в 2020–2021 гг. потребовалось 66–70 тыс. т неодима и других РЗМ для постоянных магнитов. Следовательно, в рамках балансовой проблемы РЗМ было добыто такое количество руды, которое необходимо, чтобы восполнить этот объем на рынке. Содержание неодима в РЗМ рудах незначительно, поэтому в настоящее время на мировом РЗМ-рынке лантан, европий, церий и самарий должны быть в избытке или близки к этому. В связи с этим цены на них, видимо, будут стагнировать или снижаться в ближайшие годы.

Перечислим основные области применения РМЗ в промышленности в настоящее время.

◇ *Катализаторы (в основном лантан, церий, неодим и празеодим).* Каталитические свойства РЗМ используют в автокатализаторах и крекинге нефти, а также во многих других реакциях органического и неорганического синтеза.

◇ *Полириты (в основном лантан, церий, празеодим)*. Полировальные порошки на основе РЗМ применяются для производства листового стекла, зеркал, оптических линз, кинескопов, интегральных схем и пр.; добавки в стекло – для его обесцвечивания и окрашивания, повышения светопрозрачности, а также добавки в специальные стекла.

◇ *Металлургия (в основном лантан, церий, неодим, празеодим)*. В металлургии РЗМ применяются в качестве легирующих добавок в сталь, высокопрочный чугун, алюминиевые, магниевые, титановые, железные и другие сплавы в индивидуальном виде или в виде мишметалла.

◇ *Аккумуляторные батареи (в основном лантан, церий, самарий, неодим, празеодим)*. Никель-металл-гибридные (NiMH) батареи используются для производства гибридных автомобилей, сотовых телефонов, портативных ПК и другой электронной продукции. Даже бурное развитие Li-ионных батарей, начиная с 2000-х годов, не обрушило спрос на NiMH батареи в том числе из-за безопасности первых<sup>1</sup>.

◇ *Люминофоры (в основном лантан, церий, европий)*. Люминофоры широко используются для производства CRT-мониторов, плазменных экранов, светодиодных ламп, в том числе для подсветки экранов различных электронных устройств (мобильных телефонов, LCD мониторов и т.д.), флуоресцентных лампах, рентгеновских установках и т.д. В структуре мирового потребления люминофоры составляют примерно 7% (см. рис. 16.4).

◇ *Керамика (в основном лантан, церий, неодим, празеодим, иттрий)*. В керамике оксид иттрия используется для стабилизации оксида циркония в производстве топливных элементов, термозащитных покрытий, износостойких изделий, кислородных датчиков, режущих инструментов, зубных протезов, фильтров, керамических конденсаторов и пр.

Такие области применения, как катализаторы (в том числе для нефтеперерабатывающей и химической отраслей) полириты, батареи, стекло, оптика и другие менее выраженные области потребления РЗМ, в ближайшие годы будут расти, что может приво-

---

<sup>1</sup> Например, одна из проблем Li-ионных батарей – перегрев органического электролита и резкое возгорание.

доть к балансу или даже к недостатку РЗМ на рынке (помимо неодима). Особенно это относится к таким элементам легкой группы, как лантан и церий.

С другой стороны, противоположную тенденцию создают:

– во-первых, новые технологии получения РЗМ из отходов и товаров с истекшим сроком службы. Например, частично церий получают из вторичного сырья полирующих порошков и из каталитических фильтров-нейтрализаторов выхлопных газов автомобилей. Поэтому, в связи с ожидаемым ужесточением экологического законодательства в автомобильной отрасли, во многих развитых странах мира возможен рост потребления как лантана, так и церия;

– во-вторых, технологии замещения РЗМ для многих высокотехнологичных продуктов и товаров. Например, спрос на европий, тербий и иттрий, как ожидается, будет падать, так как они используются в основном только в люминофорах, которые вытесняются светодиодными лампами (LED лампы). Кроме того, европий частично получают из вторичного сырья на одном из французских заводов компании Solvay.

Для сглаживания балансовой проблемы сегодня производители и потребители пытаются найти технологии в следующих направлениях:

- поиск новых областей потребления для «избыточных» РЗМ;
- возможность замещать «редкие» РЗМ на «избыточные» или вообще на не РЗМ;
- уменьшение использования РЗМ в разных областях;
- диверсификация редкоземельных ресурсов;
- переработка.

#### **16.4. Прогноз спроса на редкоземельные металлы**

Поскольку рынок редкоземельной продукции является относительно новым и молодым (по сравнению с другими товарными рынками базовых металлов в мире), то оценка будущего спроса является сложной задачей, учитывая революционный технологический скачок за последний век. К сожалению, такая

фундаментальная неопределенность появления и развития новых технологий заставляет говорить только о трендах будущего спроса. Поэтому правильно исследовать широкий спектр возможных сценариев с помощью набора разных методов прогнозирования.

*Первый сценарий* будет опираться на метод, заключающийся в оценке будущего совокупного спроса на основе исторических темпов роста. Результатом данного метода будет экспоненциальная зависимость – уравнение среднегодового темпа роста<sup>1</sup>.

*Во втором сценарии* будем предполагать, что в течение прогнозируемого периода не произойдет смена доминирующей области потребления, а глобальный прогнозируемый спрос будет строиться на исторических данных с использованием регрессионной модели.

*Третий сценарий* будет основан на предположении об опережающем развитии доминирующей области применения РЗМ для перехода к экологически чистой энергетике согласно отчету Международного энергетического агентства<sup>2</sup>. В этом сценарии прогнозируется потребность в редкоземельных ресурсах для производства электромобилей, аккумуляторов, ветровых турбин, использования водородных электролизеров и топливных элементов.

Ретроспективный анализ за период 1951–2020 гг., с момента, когда началось применение РЗМ в промышленных объемах в телевизионной индустрии, а далее в металлургии, нефтяной и полупроводниковой промышленности, показывает, что среднегодовой темп роста глобального спроса и предложения составляют 4,1% и 4,3%, соответственно (рис. 16.5). Это подтверждает тот факт, что многие страны с высокотехнологичной промышленностью часть произведенной или импортируемой редкоземельной продукции перевели в стратегические запасы для национальной безопасности страны. Если такая тенденция роста глобального спроса сохранится, то (*в рамках первого сценария*) мировое по-

---

<sup>1</sup> В зарубежной литературе – a compound annual growth rate (CAGR).

<sup>2</sup> International energy agency (IEA). – URL: <https://www.iea.org/> (дата обращения: 14.10.2022); The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. – URL: <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions> (дата обращения: 05.10.2022).

требление вырастет примерно в 3,3 раза и составит порядка 663 тыс. т. Причем доля производства магнитных материалов на основе неодима и диспрозия, вероятно, продолжит расти с 33% в 2020 г. до 37% к середине века, что усилит балансовую проблему для производителей.

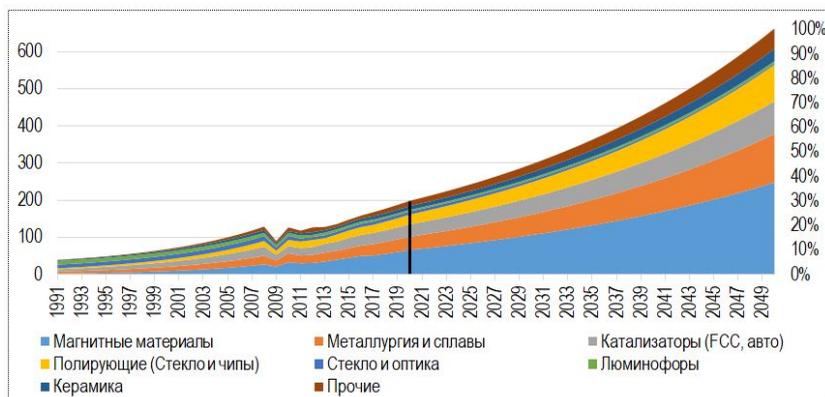


Рис. 16.5. Структура и прогноз мирового потребления РЗМ на 2021–2050 гг., тыс. т

Проведенные математические вычисления показывают, что построенная линейная регрессионная модель дает близкие результаты со сценариями опережающего развития мировой энергетики согласно докладу IEA: Stated Policies Scenario (STEPS) и Sustainable Development Scenario (SDS)<sup>1</sup>. Первый сценарий предполагает развитие мировой энергетики в соответствии с существующими политическими мерами и планами относительно энергетического сектора. По данным IEA, спрос на РЗМ со стороны «зеленой энергетики» в 2020 г. составил 6,4 тыс. т. Согласно сценарию STEPS, прогнозируется рост потребления РЗМ до 18,9 тыс. т к 2030 г. и до 21,8 тыс. т к 2040 г. соответственно. Если такая тенденция сохранится, то глобаль-

<sup>1</sup> The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. – URL: <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions> (дата обращения: 05.10.2022).

ный спрос на редкоземельное сырье может достигнуть уровня 500 тыс. т к 2050 г., в том числе на магнитные материалы – 179 тыс. т (рис. 16.6).



Рис. 16.6. Сценарии прогнозного спроса на РЗМ до 2050 г., тыс. т

Второй сценарий предполагает общемировую борьбу с пагубным изменением климата на планете в рамках выполнения Парижского соглашения<sup>1</sup>. Согласно сценарию SDS, к 2050 г. странами-участницами соглашения будут полностью достигнуты нулевые показатели выбросов парниковых газов, что создаст дополнительный стимул для внедрения новых технологий в «зеленой энергетике» и, как следствие, дополнительное потребление редкоземельного сырья. В соответствии с этим сценарием спрос на РЗМ со стороны безуглеродной энергетики прогнозируется на уровне 34,2 тыс. т в 2030 г. и 46,6 тыс. т в 2040 г. Если на пути декарбонизации энергетики сохранится такая тенденция потребления РЗМ, то глобальный спрос на РЗМ может составить 544 тыс. т к 2050 г., в том числе на магнитные материалы – 219 тыс. т (см. рис. 16.6).

<sup>1</sup> The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. – URL: <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions> (дата обращения: 05.10.2022).

## **16.5. Ценообразование и цепочка добавленной стоимости производства РЗМ и продукции на ее основе**

В эффективных экономиках развитых стран ценообразование происходит на основе взаимодействия спроса и предложения в рамках одного института или механизма, который называется рынок. Чаще всего ценообразование является прозрачным. Например, цены на многие металлы можно найти на Лондонской, Шанхайской и других биржах, на нефть – на Нью-Йоркской товарной и Лондонской биржах, в отличие от редких земель, которые не продаются и даже не котируются на международных товарных биржах. Кроме того, монополистический характер рынка РЗМ, статус «критических» или «стратегических» ресурсов во многих странах мира, отсутствие надежной международной торговой статистики РЗМ не способствуют улучшению ситуации и повышению транспарентности ценообразования в будущем.

В октябре 2013 г. с целью повышения прозрачности механизма ценообразования и стабилизации рынка РЗМ в Китае была запущена редкоземельная биржа в г. Баоту (Baotou Rare Earth Exchange)<sup>1</sup> [31]. Предполагалось, что торговля начнется со спот- и форвардных сделок, а позже фьючерсных. Однако в настоящее время значительная часть сделок до сих пор заключается в соответствии с долгосрочными контрактами.

С середины 1980-х годов до сегодняшнего времени производство в Китае сохраняет абсолютно лидирующую позицию в мире, причем к 2000-м годам это привело к абсолютной монополии. Поэтому неудивительно, что китайское правительство начало агрессивную политику в отношении экспорта РЗМ. Следствием чего стало резкое сокращение китайского экспорта в конце 2010–2011 гг., и в ожидании дефицита на рынке РЗМ резко выросли цены.

---

<sup>1</sup> Juan, D. First rare-earth products exchange to help stabilize market. — URL: [http://usa.chinadaily.com.cn/business/2013-08/10/content\\_16884782.htm](http://usa.chinadaily.com.cn/business/2013-08/10/content_16884782.htm) (дата обращения: 17.10.2022).

После выхода из кризиса на рынке РЗМ лантан, церий и скандий были в избытке, поэтому цены на них падали. В балансе – иттрий, самарий, европий, эрбий, иттербий и лютеций, а значит цены были постоянными. И наконец, как упоминалось выше, неодим, празеодим и часть тяжелых РЗМ (гадолиний, тербий, диспрозий и гольмий) были в дефиците, поэтому цены на них росли (хотя и с разным темпом).

Снижение цены на некоторые легкие РЗМ можно объяснить несколькими факторами. Во-первых, из-за роста цен в 2010–2011 гг. по всему миру начались попытки ввода новых мощностей добычи и обогащения РЗМ. Во-вторых, после кризиса на глобальном рынке РЗМ в 2010–2011 гг. во всем мире большинство крупных производителей высокотехнологичных видов продукции, в которых используются РЗМ, начали поиск новых технологий. А на государственном уровне начали стимулировать и поощрять исследования, направленные на уменьшение потребления или замещение РЗМ, использование вторичных редкоземельных ресурсов. Например, получение РЗМ из расплавленных солей после пирометаллургии, шлака, двигателей с постоянными магнитами, отработанных никель-металлгидридных батарей (NiMH), флуоресцентных ламп, катализаторов, полирующих порошков и других материалов.

Еще одним результатом агрессивной политики Китая стало то, что сегодня это единственное государство, обладающее полной производственной цепочкой (включая всю цепочку добавленной стоимости): добыча редкоземельной руды – производство концентратов РЗМ – производство оксидов и индивидуальных РЗМ – производство высокотехнологичных товаров. Еще в 1999 г. президент Цзян Цзэминь подчеркнул необходимость «улучшить разработку и применение редкоземельных элементов» и «изменить преимущество ресурсов в экономическое превосходство» [70]. Поэтому с 1990-х годов Китай начал экспортировать высокотехнологичные товары из редкоземельных металлов (в том числе оксиды и индивидуальные РЗМ). Например, в табл. 16.4 показана цепочка добавленной стоимости на эти элементы на рынке Китая в 2022 г.

Таблица 16.4

**Цепочка добавленной стоимости производства РМЗ и продукции  
на ее основе на рынке Китая на 31 августа 2022 г., цены EXW USD/kg**

Purity	Chloride	Carbonate	Oxides		Mishmetal	Metals
			99–99,9%	99,99– 99,999%		99–99,99%
Y				10,5		38,7
Sc				798,4		2877,1 – 4955,6
La	0,3 – 0,7	0,4	1,2	5,1	3,8 – 4,2	4,15
Ce			1,3	7		
Pr			129,4		152,7	
Nd			131,6			162,1
Sm			3,3			14,7
Eu				30,3		
Gd			64,2	72,5		
Tb				1833,2		2323,3
Dy			417,5			526,9
Ho			188,7			
Er			49,9			
Yb				16,7		
Lu				800		

В 2000-х годах китайские власти продолжили стратегию, направленную на развитие горнодобывающего сектора РЗМ и его вертикальное расширение, постепенно интегрируя вышестоящие этапы цепочки создания добавленной стоимости, чтобы охватить как можно большую долю. Например, производство таких наукоемких продуктов, как возобновляемые источники энергии, микроэлектроника (мобильные телефоны, компьютерная техника), различные катализаторы и т.п. Так, по данным UNCTAD, цена за килограмм соединения  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  (неодимовые постоянные магниты)

примерно в 18 раз выше, по сравнению с килограммом соответствующего концентрата (рис. 16.7) [70].



Рис. 16.7. Пример цепочки создания стоимости постоянных неодимовых магнитов в Китае, USD/kg

Приходится констатировать, что эффективными и устойчивыми экономикками среди развитых стран могут быть только те, где компании и предприятия в совокупности создают всю технологическую цепочку редкоземельной промышленности: «от лопаты до высокотехнологичной продукции на основе РЗМ», в частности, вертикально-интегрированные компании. Только таким способом можно уйти от агрессивной ценовой политики Китая и произвести диверсификацию поставок.

Особенно это касается легкой группы РЗМ, элементы которой находятся на мировом рынке в избытке, кроме ключевых элементов этой группы – неодима и празеодима (находятся в недостатке). Подтверждением этого является то, что при падении цен на оксиды и индивидуальные РЗМ в 2010–2011 гг., цены на такие конечные наукоемкие продукты, как неодимовые магниты, катализаторы, полирующие порошки, стекло, мишметаллы, аккумуляторы, люминофоры и керамика, падать не торопились.

## 16.6. Текущее состояние редкоземельной промышленности в России

Редкоземельный комплекс СССР занимал 3-е место в мире по производству РЗМ (после Китая и США), годовой объем производства был на уровне 8,5 тыс. т, что составляло около 17% мирового рынка в 1990-х годах. При этом на протяжении 1970-х и до середины 1980-х годов потребление было на уровне около 6 тыс. т в год, в 1990-х годах – 8 тыс. т, а после 1991 г. – не превышало 3 тыс. т в год (в пересчете на оксиды). На протяжении уже более 25-летнего периода использование редкоземельных металлов в России не превышает этот новый уровень.

Экономика России, связанная с РЗМ, представляет собой узконаправленного, узкоотраслевого производителя военной техники, нефти и продуктов нефтехимии, которые, в свою очередь, связаны с производством катализаторов для нефтехимии (легкие РЗМ – La, Ce, Pr, Nd), металлургии, где используются в основном смешанные РЗМ (например, мишметалл), а также полиритов, в которых используется в основном оксид церия. Поэтому структура потребления РЗМ в России кардинально отличается от общемировой (рис. 16.8). Также можно выделить две государственные компании, которые сегодня являются главными потребителями РЗМ в отечественной высокотехнологичной промышленности: ГК «Ростех» и ГК «Росатом».

В настоящее время в странах бывшего СССР действует единственное предприятие, на котором добывают редкоземельную руду – «Ловозерский ГОК» (ЛГОК, Мурманская область). Продукцией комбината является лопаритовый концентрат, который является основой для производства редкоземельных металлов, тантала, ниобия, титана, стронция и тория. Стоит отметить, что, начиная с 2010 г., растет объем переработанного сырья на комбинате, который вырос до уровня 9,5 тыс. т лопаритового концентрата в 2019 г. (рис. 16.9). Предприятие имеет возможности для увеличения объема производства до 12–13 тыс. т в год<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Годовые отчеты ОАО «Соликамский магниевый завод». – URL: <https://www.smw.ru/shareholder/everyyear/> (дата обращения: 01.10.2022).

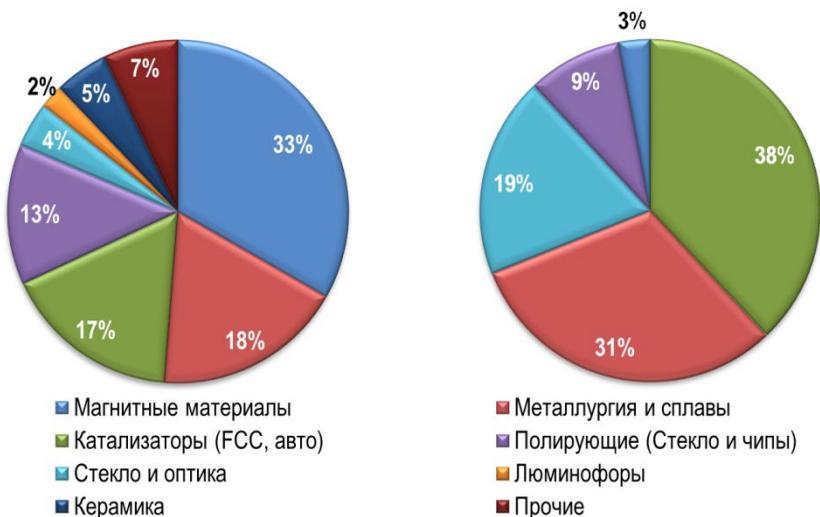


Рис. 16.8. Структура мирового потребления РЗМ (слева) и России (справа), %



Рис. 16.9. Динамика поставок лопаритового концентрата и производство соединений РЗМ на СМЗ, и поставок продуктов РЗМ на внутренний рынок РФ, 2001–2019 гг., тыс. т

Примечание: Расчеты на основе: [62].

Единственным потребителем лопаритового концентрата является «Соликамский магниевый завод» (СМЗ, Пермский край). Несмотря на рост поставок, коэффициент использования мощностей по хлорированию составляет не более 70% [62]. Таким образом, чтобы загрузить СМЗ на 100%, «Ловозерский ГОК» должен выпускать около 12–13 тыс. т концентрата ежегодно, что соответствует возможностям комбината.

СМЗ отгружает почти 80% готовой продукции в виде соединений редкоземельных элементов на завод «AS Silmet» (Эстония), где производится разделение на индивидуальные РЗМ (остальная часть продукции поставляется азиатским партнерам). С 2011 г. завод «AS Silmet» принадлежит американской компании «Neo Performance Materials» (ранее «Molycorp», США)<sup>1</sup>. Оценочно, суммарный объем поставок составляет 3–5 тыс. т в год (в пересчете на оксиды), которые идут на нужды высокотехнологичной промышленности США. Несмотря на то что это достаточно устойчивая цепочка производства и разделения РЗМ, находящаяся за пределами Китая, ее жизнеспособность и функционирование сильно зависят от политической конъюнктуры (прежде всего от политики Китая и США).

Впрочем, основная добыча РЗМ в России (88,9%) ведется на крупнейшем в мире предприятии по производству апатитового концентрата «Апатит», входящем в холдинговую компанию «ФосАгро». Разрабатывается пять месторождений апатит-нефелиновых руд в Мурманской области (табл. 16.5). На одном из предприятий в Вологодской области была разработана опытно-промышленная технология извлечения РЗМ из экстракционной фосфорной кислоты с получением групповых концентратов и возвращением её в технологическую цепочку производства фосфорных удобрений [62]<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Neo Performance Materials. – URL: <https://www.neomaterials.com/about-neo/our-history> (дата обращения: 19.10.2022).

<sup>2</sup> Группа компаний ФосАгро. – URL: <https://www.phosagro.ru/about/holding/item49.php> (дата обращения: 08.10.2022).

Таблица 16.5

## Основные месторождения РЗМ в России

Название месторождения (субъект РФ)	Геолого- промышленный тип	Запасы TREO, тыс. т		Доля в запасах РФ, %	Содержание TREO в рудах, %	Добыча в 2019 г., тыс. т
		A+B+C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>			
АО «Апатит»						
Юкспорское, Апатитовый цирк, Плато Расвумчорр, Кукисвум-чоррское, Коа-швинское (Мурманская область)	Апатит-нефелиновый	6463,9	535,4	21,2	0,35	88,9
АО «Северо-Западная Фосфорная Компания»						
Олений ручей (Мурманская область)	Апатит-нефелиновый	930,5	470,1	4,2	0,38	13,2
ООО «Ловозерский ГОК»						
Ловозерское (Мурманская область)	Нефелиновые сиениты с лопаритом	2653,1	4525,9	21,7	1,12	2,7
ООО «Восток Инжиниринг»						
Томторское, участок Буранный (Республика Саха)	Коры выветривания карбонатитов	2640,4	592,5	9,8	11,99	–
ЗАО «ГК Партомчорр»						
Партомчоррское (Мурманская обл.)	Апатит-нефелиновый	1505,2	257,7	5,3	0,2	–
Нераспределенный фонд недр						
Чуктуконское (Красноярский край)	Пирохлор-монацитовые коры выветривания карбонатитов	952,9	1909,4	8,7	5,38	–
Селигдарское (Республика Саха (Якутия))	Апатит-карбонатные метасоматиты	4410,4	–	13,4	0,35	–
Белозиминское (Иркутская область)	Коры выветривания карбонатитов	–	1645,9	5	0,9	–

Примечание: По данным [62]

Стоит отметить, что основным побочным продуктом производства минеральных удобрений является фосфогипс. На текущий момент в отвалах накоплено около 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 «Лаборатория инновационных технологий» (ЛИТ), которая входит в холдинг «Скайград» (г. Юбилейный, Московская область). Руководство компании планирует создать крупное промышленное производство с объёмом переработки до 2 тыс. т в год в г. Пересвет (Московская область)<sup>1</sup>.

Вторая по уровню добычи РЗМ в России – «Северо-Западная фосфорная компания» (СЗФК), входящая в группу компаний «Акрон»<sup>2</sup> – обеспечивает 12,6% добычи РЗМ в стране (см. табл. 16.5) [62]. В 2016 г. компания запустила производственную линию по выделению концентрата РЗМ мощностью 200 т в год из технологических потоков переработки апатитового концентрата месторождения Олений Ручей (Мурманская область) с дальнейшим получением оксидов церия, лантана, неодима, а также концентратов легкой, средней и тяжелой групп РЗМ. Однако в 2021 г. низкие цены на РЗМ привели к отрицательной рентабельности производства, поэтому цех был остановлен и законсервирован<sup>3</sup>.

Перспективным проектом для развития отечественной промышленности также может стать освоение ниобий-редкоземельного месторождения Томтор в Республике Саха (Якутия). Согласно лицензионному соглашению, первым этапом освоения месторождения является ввод в эксплуатацию участка Буранный к 2023 г., строительство гидromеталлургического комбината в г. Краснокаменск (Забайкальский край) и его запуск

---

<sup>1</sup> Группа компаний «Скайград». – URL: <http://rzm.sky-grad.ru/factory/proizvodstvo> (дата обращения: 14.10.2022).

<sup>2</sup> ГК «Акрон» является одним из крупнейших мировых производителей минеральных удобрений.

<sup>3</sup> «Акрон» останавливает производство редкоземельных элементов в Великом Новгороде. – URL: [https://www.acron.ru/press-center/press-releases/200802/?sphrase\\_id=34334](https://www.acron.ru/press-center/press-releases/200802/?sphrase_id=34334) (дата обращения: 06.10.2022).

в 2024 г. Недропользователь – компания «ТриАрк Майнинг»<sup>1</sup> – планирует выйти на мощность добычи сухой руды 150 тыс. т с получением товарной продукции порядка 20 тыс. т: оксиды лантана, церия, празеодима, неодима, концентрата среднетяжелой группы РЗМ, концентрата скандия и феррониобия. Для этих целей в рамках Восточного экономического форума были заключены кредитные соглашения между ВЭБ, «Восток Инжиниринг»<sup>2</sup> (оператор участка Буранный) и ООО «Краснокаменский гидрометаллургический комбинат» (ООО «КГМК») на сумму 1,5 млрд руб., часть из которых будет направлена на строительство и ввод оборудования для создания горнодобывающего и перерабатывающего предприятий [62].

В целом Россия располагает одной из крупнейших в мире минерально-сырьевой базой РЗМ. Об этом свидетельствует статистика Геологической службы США, по данным которой в 2020 г. российские резервы составляли 12 млн т доказанных запасов РЗМ (в пересчете на оксиды), что составляет около 10% от общемировых запасов [61]. В то же время Государственным балансом запасов полезных ископаемых по категориям А+В+С<sub>1</sub>+С<sub>2</sub> учтено 33 млн т TREO на начало 2020 г., что будет соответствовать примерно 23% от общемировых запасов. Ресурсный потенциал существенно меньше, хотя и отличается высокой степенью изученности – прогнозные ресурсы категории Р<sub>1</sub> оценены почти в 8,2 млн т, категории Р<sub>2</sub> – в 3,8 млн т на начало 2019 г [62].

С 2009 по 2018 год добыча РЗМ в России росла (только в 2019 г. произошло снижение до уровня 111,6 тыс. т), однако от этого количества менее 5% поступает на дальнейшую переработку (рис. 16.10). Причина в том, что российская минерально-сырьевая база РЗМ в основном включает месторождения с апатит-нефелиновыми и лопаритовыми рудами, суммарное содержание РЗМ в которых редко превышает 1%

---

<sup>1</sup> Первоначально компания ООО «ТриАрк Майнинг» была совместным предприятием ГК Ростехнологии и Группы ИСТ. В 2019 г. Ростех передал свою долю (25% плюс одна акция) кипрской компании Zaltama Holding Ltd, которая вышла из проекта в следующем году. В это же время компания АО «Полиметалл» приобрела 9,1% ООО «ТриАркМайнинг» за 20 млн долл. [73].

<sup>2</sup> Дочерние компании ООО «ТриАрк Майнинг».

(см. табл. 16.5), поэтому этот вид сырья в основном является попутным компонентом добычи или вовсе не извлекается при отработке месторождения.

После распада СССР в России сложилась парадоксальная ситуация: СМЗ почти всю редкоземельную продукцию в виде коллективного концентрата карбонатов экспортирует (см. рис. 16.8), а оксиды, индивидуальные РЗМ и их соединения объемом 1–2 тыс. т ежегодно импортируются для производства катализаторов, магнитов, электроники, оптики, керамики и другой продукции с высокой добавленной стоимостью. Такое незначительное внутреннее потребление РЗМ не дает стимулов для создания рентабельных мощностей обогащения и выделения РЗМ из концентратов в рыночных условиях. Также после распада СССР в стране отсутствуют компании по проектированию и запуску обогатительных линий для выделения оксидов и индивидуальных РЗМ, что приводит к мультипликативному эффекту импортирования и развития зарубежных технологий в этой области.

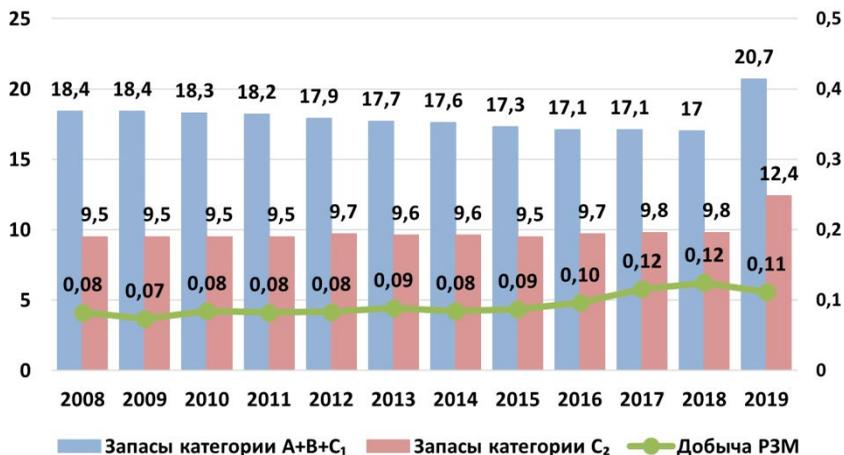


Рис. 16.10. Динамика запасов и добычи РЗМ в России за период 2008–2019 гг. (ТРЕО), млн т [62]

В сложившихся обстоятельствах целесообразность вовлечения редкоземельных источников минерально-сырьевых ресурсов в промышленную эксплуатацию требует тщательного изучения геологического строения объекта, необходимой инфраструктуры, методов эффективного извлечения и обогащения ценных компонентов, поиска новых или модификации старых технологий.

Это связано, во-первых, с тем, что, руды являются комплексными и сложными по составу – помимо самих РЗМ в них содержатся такие элементы, как ниобий, тантал, фосфор, железо, алюминий и др. Известно более 250 минералов, которые содержат РЗМ, но только 60–65 являются «редкоземельными». Поэтому в наше время до сих пор одной из важнейших задач остается разработка принципиально новых подходов и технологий глубокой и комплексной переработки редкоземельных руд, не поддающихся обогащению традиционными физико-механическими методами.

Во-вторых, редкоземельные руды содержат радиоактивные торий и уран, концентрации которых сильно отличаются для каждого редкоземельного месторождения, при этом в настоящее время эти элементы считаются побочными при добыче.

В-третьих, редкоземельные элементы, как упоминалось, часто являются попутными продуктами добычи и переработки руды с такими элементами, как железо, кобальт, марганец, титан, ниобий, тантал, цирконий и другие [67]. Поэтому освоение редкоземельных источников всегда носит инновационный характер, а технико-экономические расчеты являются сложными и подвержены большим погрешностям [76].

Важно также отметить, что разработка сырьевой базы РЗМ в России осложняется тем, что в стране нет технологий извлечения РЗМ из отходов недропользования (вскрышные и вмещающие горные породы, шламы, хвосты обогащения полезных ископаемых и др.) и производства других металлов. Инвесторы не склонны активно развивать проекты добычи РЗМ (они низкорентабельные и капиталоемкие), а доминирование на рынке китайских поставщиков делает риски вложения в месторождения слишком высокими [77]. Особенно это касается отдаленных

и обособленных проектов (например, месторождение Томтор, расположенное в Арктической зоне Республики Саха (Якутия)), поскольку на такие проекты действуют дополнительно следующие отрицательные факторы [78]:

- низкий уровень транспортной доступности и территориальная удаленность от основных промышленных центров;
- отсутствие развитой промышленной инфраструктуры;
- ограниченный доступ к квалифицированной рабочей силе;
- очаговый характер промышленно-хозяйственного освоения территорий и низкая плотность населения, жизнеспособность которого зависит от поставок топлива, продовольствия и товаров первой необходимости из других регионов России;
- экстремальные природно-климатические условия, включая аномально низкие температуры, сильные ветры и наличие ледяного покрова в акватории арктических морей;
- повышенная чувствительность экологических систем к промышленному освоению арктических территорий.

Общей чертой проектов, реализуемых на Севере, является акцент на освоении крупных и/или уникальных источников сырья, а также низкий уровень развития перерабатывающих отраслей и производств. Поэтому недропользователи часто используют разные (порой уникальные) логистические схемы для транспортировки грузов и материально-технического снабжения осваиваемых месторождений на различных видах транспорта: автомобильная, водная (речная, морская, ледокольная) и железнодорожная перевозка.

В последние годы в России на государственном уровне формируется новое видение активной промышленной политики в сфере РЗМ. Есть понимание того, что полная зависимость от импортных (прежде всего китайских) редкоземельных металлов (уровня оксидов и выше) не отвечает современным вызовам и угрозам национальной высокотехнологичной промышленности. Поэтому необходимо консолидировать активы в рамках цепочек создания добавленной стоимости. Компании (в том числе вертикально-интегрированные) в совокупности должны формировать всю производственную цепочку в рамках отечественной отрасли редкоземельных металлов.

Для консолидации отрасли в Министерстве промышленности и торговли РФ совместно с ГК «Росатом» уже ведется работа по заключению соглашений между различными участниками национальной редкоземельной промышленности для создания условий организации полной технологической цепочки – от добычи до производства продукции на основе РЗМ и ее утилизации. Также Минпромторгом был подготовлен проект «Стратегии развития отрасли редких и редкоземельных металлов Российской Федерации на период до 2035 г.», в рамках которой планировалось за счет развития собственной сырьевой базы, высокотехнологичных отраслей потребления РЗМ и мер поддержки снизить импорт до 60% к 2025 г., а в дальнейшем – до 40% к 2035 г.<sup>1</sup>. Кроме того, в этой Стратегии был разработан план мероприятий (дорожная карта), в рамках которого планировалось предпринять регуляторные и финансовые меры поддержки промышленности РЗМ на период до 2035 г.

Однако в рамках Распоряжения Правительства РФ от 6 июня 2020 г. (№ 1512-р Об утверждении Сводной стратегии развития обрабатывающей промышленности РФ до 2024 г. и на период до 2035 г.) остались только приоритетные направления развития промышленности редких и редкоземельных металлов и ключевые индикаторы: увеличение объемов промышленного производства РЗМ до 20–30 тыс. т к 2035 г. и расширение набора источников сырья не менее чем на 10 единиц с достижением степени разделения редких и редкоземельных металлов на уровне значения 0,7<sup>2</sup> за аналогичный период<sup>3</sup>. На наш взгляд, такой подход существенно ограничивает возможности стимулирования отрасли – ее кон-

---

<sup>1</sup> Стратегия развития отрасли редких и редкоземельных металлов Российской Федерации на период до 2035 г. – URL: [https://minpromtorg.gov.ru/docs/#!strategiya\\_razvitiya\\_otrasli\\_redkih\\_i\\_redkozemelnyh\\_metallov\\_rossiyskoy\\_federacii\\_na\\_period\\_do\\_2035\\_goda](https://minpromtorg.gov.ru/docs/#!strategiya_razvitiya_otrasli_redkih_i_redkozemelnyh_metallov_rossiyskoy_federacii_na_period_do_2035_goda) (дата обращения: 18.10.2022).

<sup>2</sup> Определяется отношением количества разделенных элементов к количеству суммарного концентрата.

<sup>3</sup> Распоряжение Правительства РФ от 6 июня 2020 г. № 1512-р Об утверждении Сводной стратегии развития обрабатывающей промышленности РФ до 2024 г. и на период до 2035 г. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202006100007> (дата обращения: 04.11.2022).

солидацию и диверсификацию рисков новых проектов освоения редкоземельных источников сырья.

Нельзя не отметить новые процессы в мировой геополитике и экономике, которыми Россия может воспользоваться для выстраивания полной технологической цепочки производства в стране и войти в глобальные цепочки создания стоимости редкоземельной продукции со стороны «downstream».

Во-первых, в связи с пандемией COVID-19 появилась тенденция на деглобализацию экономик ведущих стран и разрушение сложившихся технологических связей. Это обстоятельство деформирует ранее сложившиеся цепочки поставок, а также открывает возможности локализации производства и доступ новых участников на внутренний рынок.

Во-вторых, в связи со специальной военной операцией на Украине в 2022 г. Россия невольно переходит на автаркию. Поэтому Россия будет вынуждена перейти на систему самообеспечения и замкнутого воспроизводства сырья, товаров и услуг.

В-третьих, важной долгосрочной тенденцией в мировой экономике является тренд на декарбонизацию и увеличение масштабов внедрения «чистых» энергетических технологий. Пандемия и российская специальная операция показали, что новый сектор «зеленых» энергетических технологий более устойчив, чем традиционная энергетика, основанная на невозобновляемых источниках энергоресурсов. На наш взгляд это вызовет значительный рост потребления редкоземельного сырья в ближайшие годы, и для России это может стать дополнительным импульсом к организации полной производственной цепочки РЗМ.