



Топ-10 направлений применения редкоземельных металлов

Институт статистических исследований и экономики знаний (ИСИЭЗ) НИУ ВШЭ с помощью системы анализа больших данных iFORA определил наиболее перспективные направления применения редкоземельных металлов (РЗМ) в мире в текущем десятилетии.

Справочно: Система интеллектуального анализа больших данных iFORA разработана ИСИЭЗ НИУ ВШЭ с применением передовых технологий искусственного интеллекта и включает более 750 млн документов (научные публикации, патенты, нормативная правовая база, рыночная аналитика, отраслевые медиа, материалы международных организаций, вакансии и другие виды источников). В 2020 г. iFORA отмечена в журнале *Nature* в качестве эффективного инструмента поддержки принятия решений в интересах бизнеса и органов власти. ОЭСР относит систему к успешным инициативам в области цифровизации науки.

Редкоземельные металлы (к ним относят 17 элементов: скандий, иттрий, лантан и 14 лантаноидов) имеют критическое значение для высокотехнологичного производства – от катализаторов до мобильных телефонов и электротранспорта. Значимость РЗМ определяют прежде всего сложность и дороговизна их добычи: эти металлы не встречаются сами по себе в крупных концентрированных месторождениях, а находятся среди других элементов. В процессе добычи, переработки и плавки РЗМ выделяются токсичные побочные продукты (в некоторых случаях и [радиоактивные](#)), для развития индустрии нужны наиболее передовые и безопасные технологии.

Справочно: В эпоху массового распространения электронных устройств, всеобщей цифровизации экономики и общества значимость РЗМ возросла многократно и приобрела геополитический оттенок. Спрос на РЗМ растет во всем мире, прежде всего со стороны КНР – лидера по объемам производства и потребления редкоземельной продукции (Китай – фактически глобальный монополист, занимает около [70% всей добычи РЗМ](#) и [90% переработки](#)). Другой ключевой потребитель – США. РЗМ стали одним из мощных инструментов торгово-экономической конфронтации этих двух стран. С середины 2010-х гг. на мировой рынок РЗМ существенно влияют [квоты](#) китайского правительства на их добычу, выплавку и разделение. Доминирование КНР на этом рынке вызвало волну санкций со стороны США. В 2022 г. Конгресс США [запретил](#) американским компаниям использовать китайские редкоземельные магниты для целей национальной обороны. Китай на это ответил [ограничением экспорта](#) технологий извлечения РЗМ и ужесточением правил передачи технологий на ряд смежных решений.

Редкоземельные металлы и их соединения применяются для двух основных задач – производства магнитов и улучшения свойств различных материалов и компонентов (катализаторы, стеклокерамика, порошки, электроды, сплавы и др.) (табл. 1).

Таблица 1. Топ-10 ключевых сфер применения РЗМ

Ранг	Сферы применения	Индекс значимости	Кластер
1.	Постоянные магниты	1.00	
2.	Добавки для микроэлектронных компонентов	0.89	
3.	Металлические сплавы	0.41	
4.	Лазеры	0.35	
5.	Производство стекла	0.29	
6.	Производство керамики	0.19	
7.	Производство катализаторов	0.14	
8.	Аккумуляторные батареи	0.06	
9.	Автомобильные компоненты	0.02	
10.	Полировочные порошки	0.02	

Легенда: Производство и использование редкоземельных магнитов

Производство промышленных сырья и компонентов

Рассчитано на основе высокоцитируемых зарубежных научных публикаций, представленных на платформе Microsoft Academic Graph в 2018–2022 гг. (более 22 тыс. источников). Индекс значимости технологии показывает ее относительную встречаемость в проанализированном массиве источников, где 1 соответствует максимальному числу упоминаний. При расчете учитываются частота встречаемости термина, его специфичность и векторная центральность. Частота встречаемости сама по себе недостаточна для отражения реальной актуальности термина, важно, чтобы он обозначал конкретное научно-технологическое направление и не был слишком общим (эту задачу решает показатель специфичности), а векторная центральность отражает степень его связи с другими направлениями поиска.

Почти треть всех используемых в мире РЗМ приходится на **постоянные магниты** (№1), и к 2030 г. эта доля может еще вырасти. Такие магниты намного **мощнее** других видов (керамических, магнитной стали и др.), обладают высокой устойчивостью к размагничиванию и имеют широкий спектр применения – от микроэлектроники до нового транспорта и медицины. Так, без неодимовых магнитов невозможно создать ни один аппарат магнитно-резонансной томографии (МРТ).

Присутствуя в виде добавок в **полупроводниковых материалах** (№2), магниты на основе РЗМ позволяют улучшать генерацию звука в смартфонах, считывание и записывание данных на жесткие диски; обеспечивают чистоту и целостность готовых устройств.

Постоянные магниты поддерживают технологию бесконтактной левитации в поездах на магнитной подушке, способных развивать скорость до 600 км/ч. РЗМ еще используют для выпуска целого ряда **автокомпонентов** (№9), включая автомобильные двигатели, трансмиссию, нейтрализаторы. В электромобилях и гибридных автомобилях используют никель-металлогидридные **аккумуляторные батареи** (№8) на основе редкоземельного лантана (высокая сложность его отделения от других металлов значительно повышает стоимость конечных решений, в обозримом будущем данный вид аккумуляторов вытеснят более дешевые литий-ионные батареи).

Добавление РЗМ в **металлические сплавы** (№3) в качестве легирующих компонентов позволяет оптимизировать свойства железа, алюминия, кобальта и других металлов и придавать им новые (включая магнетизм, прочность и термостойкость). С помощью РЗМ также **легируют** различные элементы **лазеров** (№4): лазерные кристаллы, стекла, керамику, твердотельные лазерные усилители. Некоторые РЗМ необходимы для производства обладающих уникальными свойствами фотолюминесценции высокопрочных стекол, которые применяют в лазерах, оптических усилителях, датчиках, а также в кремниевых солнечных элементах. Широко применяют РЗМ (или их оксиды) в **стекляной промышленности** (№5), в частности для **производства** листового, медицинского стекла, оптических линз, мониторов с плоским экраном и др.

Добавление РЗМ в качестве стабилизаторов и вспомогательных веществ при производстве сверхпроводящих и термостойких **керамических изделий** (№6) улучшает огнеупорные свойства керамики, которая используется, например, для создания топливных элементов, различных термозащитных покрытий, режущих инструментов, а также зубных протезов. РЗМ являются важными компонентами **функциональной керамики**, из которой, например, изготавливают оборудование для обработки сигналов, датчики, полупроводниковые устройства и др.

Несмотря на растущее значение РЗМ для высокотехнологичных производств, в традиционных отраслях эти металлы также продолжают активно использовать, эксплуатируя такие их качества, как высокая термическая и химическая стабильность и взаимозаменяемость с другими элементами. Значительные объемы РЗМ приходятся на производство **катализаторов** (№7), которые используют в нефтепереработке, фильтрах очистки выхлопных газов и др. Еще они **присутствуют** в составе **полировальных порошков** (№10), которые, в свою очередь, нужны для производства линз, полупроводниковых материалов и жидкокристаллических экранов.

По мере роста потребления РЗМ актуализируются связанные с их добычей и производством вопросы утилизации радиоактивных отходов и **переработки изделий**, в которых они содержатся. Сейчас извлекают из готовой продукции и повторно используют только **1%** редкоземельных элементов. В первую очередь это **касается** таких продуктов, как постоянные магниты, никель-металлогидридные аккумуляторы и люминесцентные лампы. Основная причина – отсутствие эффективных технологий переработки и неразвитость соответствующей инфраструктуры.

Свои решения для утилизации и повторного использования РЗМ пытаются создать многие страны. Так, британский производитель приводных систем GKN Automotive **работает над модернизацией** электродвигателя с использованием переработанных магнитов. Крупные корпорации (Solvay, Hitachi Metals, REEcycle, Jiangsu Huahong Technology, Lynas, GanZhou QianDong Rare Earths) расширяют мощности и постепенно развивают инфраструктуру переработки использованных РЗМ. Параллельно с этим правительства некоторых государств (**ЕС, США, Великобритания**) финансируют научно-исследовательские проекты, направленные на повторное использование РЗМ из готовых изделий, прежде всего в целях обеспечения устойчивости цепочек поставок и снижения зависимости от ведущих поставщиков. Ценность РЗМ для высокотехнологичных отраслей промышленности, электроники и транспорта многократно возрастает, особенно в условиях геополитической турбулентности и тренда на экономический и технологический суверенитет, поэтому в ближайшие годы стоит ожидать расширения числа государственных и корпоративных инициатив в этой области.

Комментирует Михаил Комаров, главный научный сотрудник Центра стратегической аналитики и больших данных ИСИЭЗ, профессор департамента бизнес-информатики ВШБ НИУ ВШЭ:

Значимость РЗМ для современной экономики крайне высока, и перечень сфер применения редкоземельных элементов с каждым годом расширяется. При этом запасы их в природе ограничены. Чтобы приоритезировать использование РЗМ, необходимо системным образом проводить оценку текущего и перспективного спроса на эту особую группу металлов, отслеживать их востребованность в различных промышленных приложениях. Решить проблему нехватки РЗМ в определенной мере может разработка новых технологий синтеза и искусственного получения этих особо ценных элементов. В нашей стране реализуется комплекс мер по выстраиванию индустрии РЗМ. Это потребует существенных инвестиций, но в долгосрочной перспективе может обеспечить основу для создания широкого круга высокотехнологичной продукции, а также придать стимул развитию экономики регионов, в которых сосредоточены месторождения редкоземельных металлов.



Источники: расчеты на основе системы интеллектуального анализа больших данных iFORA (правообладатель – ИСИЭЗ НИУ ВШЭ); результаты проекта «Экспертно-аналитическое сопровождение деятельности по развитию высокотехнологичных направлений в 2024 г., включая подготовку ежегодного доклада (“белой книги”) о развитии отдельных высокотехнологичных направлений» тематического плана научно-исследовательских работ, предусмотренных Государственным заданием НИУ ВШЭ.

■ Материал подготовили **Н. П. Марчук, Ю. В. Туровец**

Данный материал НИУ ВШЭ может быть воспроизведен (скопирован) или распространен в полном объеме только при получении предварительного согласия со стороны НИУ ВШЭ (обращаться issek@hse.ru). Допускается использование частей (фрагментов) материала при указании источника и активной ссылки на интернет-сайт ИСИЭЗ НИУ ВШЭ (issek.hse.ru), а также на авторов материала. Использование материала за пределами допустимых способов и/или указанных условий приведет к нарушению авторских прав.

© НИУ ВШЭ, 2024