

Технологические исследования обычно относятся к самой дорогостоящей части разрабатываемых проектов и последнее слово всегда остается за экономикой процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьева, А.В. Новый нетрадиционный тип циркониевого орудения (рудопроявление Алгама) / А.В. Григорьева, Е.Н. Левченко, Л.О. Магазина, С.Е. Борисовский, И.М. Куликова / Матер. конф. «Месторождения стратегических металлов: закономерности размещения, источники вещества, условия и механизмы образования», посвящена 85-летию ИГЕМ РАН. — М.: ИГЕМ РАН, 2015. — С. 186–187.
2. Занавескин, К. Л. Физико-химические основы разделения некондиционных продуктов обогащения титаноциркониевых россыпей Лукояновского месторождения / К.Л. Занавескин, Е.Н. Левченко, Л.Н. Занавескин, А.Н. Масленников // Разведка и охрана недр. — М. — 2014. — № 9. — С. 30–35.
3. Лихникевич, Е.Г. Принципиальная термохимическая технология переработки циркон-бадделейтовых концентратов / Е.Г. Лихникевич, Е.Н. Левченко, О.А. Якушина, А.С. Фатов / Вестник ИГ Коми НЦ УрШ РАН. — 2016. — № 3. — С. 18–25.
4. Мельниченко, Е.И. Фторидная переработка редкометалльных руд Дальнего Востока / Е.И. Мельниченко. — Владивосток: Дальнаука, 2002. — 260 с.
5. Рихванов, Л.П. Циркон-ильменитовые россыпные месторождения как потенциальный источник развития Западно-Сибирского региона / Л.П. Рихванов, С.А. Бабенко, А.И. Соловьев и др. — Кемерово: САРС, 2001. — 214 с.
6. Соловьев, А.И. Комплексная переработка коллективных рудных концентратов, выделяемых из песков россыпных ильменит-циркониевых месторождений / А.И. Соловьев, В.М. Малютина, Л.П. Рихванов, Т.В. Усманова, С.А. Бабенко // Горный журнал. Специальный выпуск. Цветные металлы. — 2006. — № 6. — С. 52–56.

© Левченко Е.Н., 2020

Левченко Елена Николаевна // levchenko@imgre.ru

УДК 339.13: 553.3

Петров И.М., Белоусова Е.Б. (ООО «Исследовательская группа «Инфомайн»), Петрова А.И. (ФГБУН ИПКОН РАН)

РАЗВИТИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И ЭКОЛОГИЧНОГО ТРАНСПОРТА — ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РОСТА МИРОВОГО СПРОСА НА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЕ РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ

В статье дана новая сегментация редких металлов с точки зрения их основного рыночного использования. Рассмотрено развитие рынка лития в связи с расширением производства электромобилей. Представлен прогноз потребления неодима на основе перспектив ветроэнергетики и электротранспорта. Показано сравнение структуры потребления РЗМ в России и Китае, сделан вывод о низком уровне использования редких металлов в высокотехнологичных отраслях в нашей стране. **Ключевые слова:** редкие металлы, литий, неодим, возобновляемые источники энергии (ВИЭ), ветроэнергетика, электромобили.

Petrov I.M., Belousova E.V. (Research Group Infomine), Petrova A.I. (Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences)

THE DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY AND ENVIRONMENTALLY FRIENDLY TRANSPORT — THE MAIN DIRECTIONS OF GROWTH IN GLOBAL DEMAND FOR HIGH-TECH RARE METALS

*The article presents a new segmentation of rare metals in terms of their main market use. The development of the lithium market in connection with the expansion of the production of electric vehicles is considered. A forecast of neodymium consumption based on the prospects of wind energy and electric transport is presented. A comparison of the structure of REM consumption in Russia and China is shown, a conclusion is drawn about the low level of use of rare metals in high-tech industries in our country. **Keywords:** rare metals, lithium, neodymium, renewable energy, wind energy, electric cars.*

Устойчивое увеличение спроса на редкие металлы (РМ) является характерной особенностью сегодняшнего дня. Они используются в самых разнообразных отраслях промышленности, при этом чаще всего направления их применения бывают разнонаправлены. Тем не менее, нами сделана сегментация по основным направлениям использования [1].

В частности, выявлена группа РМ с преимущественным потреблением в качестве компонентов электронных и оптических систем — галлий, индий, германий, тантал, теллур и таллий (табл. 1).

В отдельный сегмент определена группа редких элементов, которая находит основное применение в аэрокосмической и атомной промышленности в качестве конструкционных материалов и добавок к ним — бериллий, рений, гафний и скандий.

К «аккумуляторным» РМ отнесены литий, использующийся в литий-ионных батареях и лантан — в никель-металлгидридных батареях. Магнитными материалами являются компоненты редкоземельных постоянных магнитов, прежде всего неодим, празеодим, диспрозий и самарий.

Вместе с тем, выделяют 4 наиболее перспективных сегмента современного использования РМ — средства транспорта, эффективное использование энергии, защита окружающей среды и средства коммуникации (табл. 2).

Согласно прогнозу Международного энергетического агентства (IEA) в перспективе доля бензиновых и дизельных автомобилей начнет сокращаться, и человечество будет переходить на другие виды транспорта, связанные с электрическими двигателями или разные гибридные. Весь этот процесс идет в соответствии с Парижским соглашением по снижению содержания углекислого газа в атмосфере.

В 2018 г. мировые продажи гибридных автомобилей и электромобилей составили уже 2 млн единиц, что в 1,6 раза выше уровня предыдущего года (рис. 1), при этом продажи всех видов автомобилей — 86 млн единиц.

Таблица 1
Сегментация редких металлов по основным направлениям их использования

Электронные и оптические компоненты	Материалы для аэрокосмической и атомной промышленности	Аккумуляторные материалы	Магнитные материалы	Керамика и стекло	Металлургия	Нефтегазовая
Ga In Ta Ge Te Ti	Be Sc Hf Re	Li La	Nd Pr Dy Sm	Zr Y Se Ce	Nb Bi	Cs Sr

Таблица 2
Основные сегменты перспективного потребления редких металлов в мире

Направление	Область использования/ продукция	Основные используемые РМ
Средства коммуникации	Мобильные телефоны, смартфоны	Галлий, индий, бериллий, тантал
	Компьютеры	Галлий, индий, европий, диспрозий, гадолиний, лютеций
Эффективное использование энергии	Светодиоды	Галлий, индий, германий
	Солнечная энергетика	Галлий, индий, теллур, селен, германий
	Ветроэнергетика	Неодим, диспрозий, празеодим
	Топливные элементы	Иттрий, цирконий, скандий
Средства транспорта	Гибридные и электро- автомобили	Литий, неодим, диспрозий, лантан, самарий, тербий, церий, празеодим
	Постоянные мощные магниты	Неодим, диспрозий, празеодим, самарий
	Перезаряжаемые батареи	Литий, лантан, церий, неодим, празеодим
	Суперсплавы	Рений, гафний, ниобий, цирконий
Защита окружающей среды	Нейтрализаторы выхлопных газов	Церий, цирконий
	Кислородные датчики	Цирконий

ном батареи литий-марганец LMO с низким содержанием лития — 4 % (табл. 3).

Согласно умеренному прогнозу к 2030 г. продажи электромобилей (EV) в мире составят 20 млн единиц, по оптимистическому варианту — 40 млн единиц. Целый ряд стран собираются выполнить свое обязательство по достижению 30 % доли рынка EV к 2030 г.

Все это вызовет дальнейшее повышение использования лития. По данным компании SQM [3] в настоящее время доля использования лития для выпуска литий-ионных батарей для электромобилей составляет около 40 %, к 2025 г. она увеличится до 60 %.

В настоящее время мировое использование лития составляет около 250 тыс. т в пересчете на карбонат. Внут-

Китай уже возглавил мировой рынок электромобилей — сейчас в этой стране зарегистрировано более 2,6 млн таких автомобилей (46 % от мирового парка). В первом полугодии 2019 г. в Китае было продано в 2 раза больше электромобилей, чем за аналогичный период 2018 г.

Характерным является содержание лития в аккумуляторных батареях разных электромобилей. Модель Tesla 3 отличается высоким уровнем лития (38 кг в пересчете на карбонат лития), а китайская модель Beijing Automotive Group — низким (15 кг). В частности, Tesla применяет батареи типа литий-кобальт-алюминий (NCA) с содержанием лития 7 %, а китайские компании — в основ-

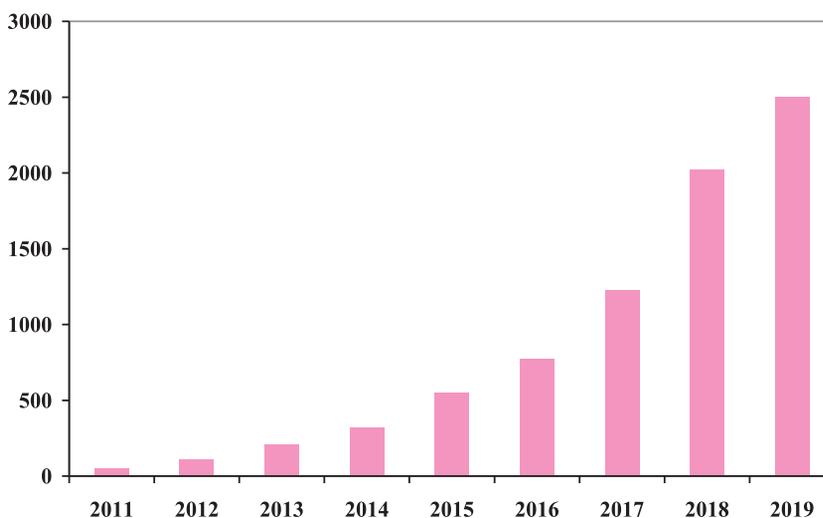


Рис. 1. Динамика продаж электромобилей в мире, тыс. шт

Таблица 3
Характеристики ряда электромобилей

Показатели/марка	Tesla Model 3	BAIC EC SERIES	Renault Zoe
Продажи в 2018 г., тыс. штук	145,8	90,6	40,3
Емкость батареи, кВт ч	50	20	41
Запас хода, км	354	156	241
Расход лития (в пересчете на карбонат), кг	38	15	31
Цена, тыс. долл. США	35	24	23

ренное потребление лития в России находится на уровне около 2 тыс. т [2].

В среднесрочной перспективе наиболее лучшим вариантом замены литий-ионных батарей считаются литий-воздушные источники тока. Они основаны на реакции лития с кислородом с образованием пероксида лития.

Для электромобиля также характерным является увеличение использования РЗМ. Стандартная модель содержит около 2 кг редкоземельных магнитов для своего двигателя, а люксовая модель — еще большее количество. При этом Tesla ориентируется на более широкое использование постоянных редкоземельных магнитов Nd-Fe-B.

По данным агентства Bloomberg еще в 2013 г. впервые в мире добавленные энергетические мощности в

большей степени были созданы за счет возобновляемых источников энергии (ВИЭ), чем за счет нефти, газа или угля. В настоящее время доля ВИЭ в мировом энергетическом балансе составила уже 4 %, в 2030 г. она может составить 10 %. При этом следует отметить, что в общем объеме электрогенерации Европы доля возобновляемых источников энергии уже в 2018 г. достигла уже 32 %.

Среди видов ВИЭ наибольшими темпами развивается ветроэнергетика, в 2018 г. мощности мировой ветроэнергетики составили почти 600 ГВт, т.е. за 5 лет выросли почти вдвое. При этом треть мировых ветроэнергетических мощностей приходится на Китай. Согласно отдельным прогнозам к 2050 г. мировые ветроэнергетические мощности вырастут почти в 10 раз по сравнению с текущим уровнем.

Для производства одного ветрогенератора на РЗМ-магнитах мощностью 1 МВт необходимо до 120 кг неодима. Исходя из прогнозов по электромобилям и ветроустановкам (даже с учетом ряда технологических ограничений), прогнозируется существенный рост потребности в неодиме. Умеренный прогноз дает к 2030 г. потребление неодима около 90 тыс. т по сравнению с 40 тыс. т в настоящее время, а оптимистичный — около 115 тыс. т. В условиях дефицита неодима, скорее всего, будет более активными темпами развиваться рециклинг — переработка отработанных магнитов.

Здесь следует особо отметить, что в России в последние годы созданы мощности по получению индивидуальных соединений РЗМ, в частности, неодима. ООО «ЛИТ» (г. Королев), входящее в группу компаний «Скайград», наладило производство карбоната неодима, оксида неодима и металлического неодима (рис. 2).



Рис. 2. Получение карбоната неодима (ООО «ЛИТ»)

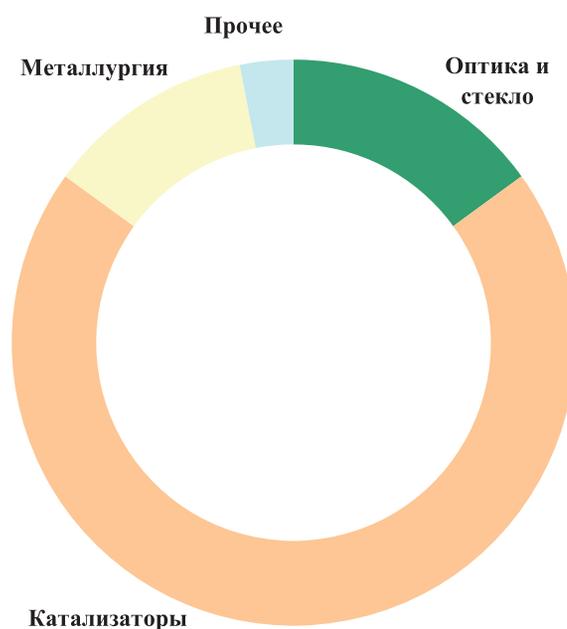


Рис. 3. Структура потребления РЗМ в России, %

При этом в мире идет активный поиск заменителей РЗМ в производстве магнитов, однако существенного прогресса в этом направлении добиться не удалось. Тем не менее, улучшены характеристики магнитных систем ряда редкоземельных магнитов. Это — сплавы на основе марганца (соединения MnBi и MnAl), нитриды железа и карбиды кобальта [5].

Правда по мнению ряда аналитиков, рынок пришел к выводу, что РЗМ являются единственными «жизнеспособными» материалами для постоянных магнитов и больше нет причин продолжать искать их заменители.

В структуре потребления РЗМ в Китае основной объем приходится на выпуск редкоземельных магнитов (около 45 %). Кстати, Китай «перехватил» в начале 2000-х годов лидерство у Японии в производстве РЗМ-магнитов.

В России основное количество используемых РЗМ приходится на выпуск катализаторов (около 70 %, рис. 3) — главным образом катализаторов каталитического крекинга для нефтеперерабатывающей промышленности.

Уровень внутреннего использования РЗМ является характерным признаком реальной экономической мощи государства. Сейчас в Китае потребляется свыше 100 тыс. т РЗМ., Япония использует 20–25 тыс. т, США — около 15 тыс. т.

Внутренний рынок РЗМ России продолжает оставаться слабым, по данным «Инфомайн» уровень потребления редких земель в пересчете на оксиды в 2018 г. составил около 1 тыс. т, в 2019 г. он увеличился до 1,1 тыс. т [4]. Пока в нашей стране, к сожалению, использование редких металлов в прорывных высокотехнологических отраслях находится в неразвитом состоянии, хотя ветроэнергетика в ближайшей перспективе может стать главным драйвером роста.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров, И.М. О классификации редких металлов на основе рыночного спроса / И.М. Петров // Минеральные ресурсы России. — 2019. — № 5. — С. 47–49.
2. Обзор рынка лития и его соединений в мире и России. 2-е изд. — М.: ООО «Исследовательская группа «Инфомайн», 2017. URL: <http://www.infomine.ru/research/38/374> (платный доступ) (дата обращения 20.11.2019).
3. Обзор рынка редкоземельных элементов (металлов) в России. 12-е изд. — М.: ООО «Исследовательская группа «Инфомайн», 2019. URL: <http://www.infomine.ru/research/38/615> (платный доступ) (дата обращения 23.11.2019).
4. Lithium Market Outlook. URL: http://s1.q4cdn.com/793210788/files/doc_news/2018/6/Foro-del-Litio-2018-Lithium-Market-Update-20180808-FINAL.pdf (дата обращения 22.11.2019).
5. Jun, Cui, Matthew Kramer, Lin Zhou, Fei Liu, Alexander Gabay George Hadjipanayis, Balamurugan Balasubramanian, David Sellmyer Current progress and future challenges in rare-earth-free permanent magnets. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359645418305858> (дата обращения 22.11.2019).

© Петров И.М., Белоусова Е.Б., Петрова А.И., 2020

Петров Игорь Михайлович // ipetrov@infomine.ru
Белоусова Евгения Борисовна // ebeloysova@infomine.ru
Петрова Александра Игоревна // aleks.pet.93@mail.ru

Галиева Ж.Н.¹, Абрамов А.М.², Соболев Ю.Б.², Геря В.О.¹
(1 — ООО «Лаборатория Инновационных Технологий»,
2 — ГК «Скайград»)

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАЗДЕЛЕНИЯ РЗЭ ЭКСТРАКЦИЕЙ В ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ЭКСТРАКТОРАХ ИЗ КОНЦЕНТРАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ: РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ, ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

*В статье рассмотрены перспективные источники редкоземельного сырья, показаны достижения компании «Лаборатория Инновационных Технологий» в области получения и разделения редкоземельных элементов и описана технология разделения редкоземельных концентратов с перспективами дальнейшего развития. **Ключевые слова:** редкоземельные элементы, фосфогипс, трибутилфосфат, индивидуальные РЗЭ, экстракция, Cyanex 572, Versatic®10.*

Galieva Zh.N.¹, Abramov A.M.², Sobol Yu.B.², Gerya V.O.¹ (1 — Laboratory of Innovative Technologies LLC, 2 — Skygrad Group of Companies)

UNIVERSAL TECHNOLOGY FOR SEPARATION OF REE BY EXTRACTION IN CENTRIFUGAL EXTRACTORS FROM CONCENTRATES OBTAINED FROM DOMESTIC MINERAL RAW MATERIALS: DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND EQUIPMENT, DEVELOPMENT OF PRODUCTION, PROSPECTS

*The article discusses promising sources of rare-earth raw materials, shows the achievements of the Laboratory of Innovative Technologies in the field of production and separation of rare-earth elements, and describes the technology of separation of concentrates with prospects for further development. **Keywords:** rare earth elements, phosphogypsum, tributyl phosphate, individual REE, extraction, Cyanex 572, Versatic 10.*

Объем производства и потребления РЗМ являются индикатором технического развития государства. Редкоземельные металлы — стратегически важное сырье, обеспечивающее технологическую независимость Российской Федерации.

В «Стратегии развития промышленности редких и редкоземельных металлов на период до 2035 года», разработанной участниками Государственной Программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности», выделены освоенные и наиболее перспективные для освоения в ближайшие годы месторождения отечественного минерального редкоземельного сырья [8].

1. Ловозерское месторождение — лопаритовый концентрат представляет минерал подкласса сложных оксидов, содержит в переменных количествах оксиды