

НЕКОТОРЫЕ ТЕНДЕНЦИИ МИРОВОГО РЫНКА РЗМ И ПЕРСПЕКТИВЫ РОССИИ

© 2018 г. А.А. Гасанов, А.В. Наумов, О.В. Юрасова, И.М. Петров, Т.Е. Литвинова

Государственный научно-исследовательский и проектный институт
редкометаллической промышленности АО «Гиредмет», г. Москва

ООО «Исследовательская группа “Инфомайн”», г. Москва

Санкт-Петербургский горный университет

Статья поступила в редакцию 18.09.17 г., доработана 13.11.17 г., подписана в печать 27.12.17 г.

Представлен анализ некоторых направлений развития мирового рынка редкоземельных металлов (РЗМ) с учетом происходящих изменений в торгово-промышленной политике Китая и тенденций потребления РЗМ. Рассматриваются основные характеристики современных рынков РЗМ, дана оценка объемов мирового производства, мировой торговли и цен. Описана динамика рынков в 2000–2017 гг. и сделан прогноз основных показателей и цен до 2020 г. Дан обзор современных мировых запасов РЗМ, производства и торговли по основным странам. Приведены цены и основные покупатели РЗМ, а также прогноз потребления. Сделана оценка перспектив отечественного рынка РЗМ с учетом выполнения в России подпрограммы «Развитие промышленности редких и редкоземельных металлов» государственной программы РФ «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности». Целью подпрограммы являлось создание в РФ конкурентоспособной редкоземельной промышленности полного технологического цикла для удовлетворения потребностей отечественного оборонно-промышленного комплекса, гражданских отраслей промышленности и выхода на зарубежные рынки. Отмечается необходимость актуализировать эту подпрограмму с учетом изменения рыночной конъюнктуры и развития производства редкоземельных металлов на территории РФ в промышленности, в том числе путем нормативно-тарифного и технического регулирования. Основными источниками редкоземельного сырья в России для промышленной переработки на ближайший период останутся лопарит и апатит, при этом производство РЗМ из апатита будет увеличиваться. Подчеркнуто, что перспективы развития РЗМ в РФ заключаются не столько в росте производства первичной продукции, сколько в создании новых производств, потребляющих редкоземельную продукцию.

Ключевые слова: редкоземельные металлы, рынок, объемы, спрос, потребление, состояние российского рынка.

Гасанов А.А. — канд. хим. наук, ст. науч. сотр., руководитель отделения особочистых веществ, редких и редкоземельных металлов АО «Гиредмет» (119017, г. Москва, Большой Толмачевский пер., д. 5, стр. 1).
E-mail: AAGasanov@giredmet.ru.

Наумов А.В. — ст. науч. сотр., аналитик-исследователь АО «Гиредмет». E-mail: naumov_arkadii@mail.ru.

Юрасова О.В. — канд. техн. наук, зав. лабораторией отделения особочистых веществ, редких и редкоземельных металлов АО «Гиредмет». E-mail: OVYurasova@giredmet.ru.

Петров И.М. — докт. техн. наук, ген. директор ООО «Исследовательская группа “Инфомайн”» (109028, Москва, Певческий пер., 4). E-mail: ipetrov@infomine.ru.

Литвинова Т.Е. — докт. техн. наук, профессор кафедры физической химии Санкт-Петербургского горного университета (199106, г. Санкт-Петербург, 21-я линия, 2). E-mail: viritsa@mail.ru.

Для цитирования: Гасанов А.А., Наумов А.В., Юрасова О.В., Петров И.М., Литвинова Т.Е. Некоторые тенденции мирового рынка РЗМ и перспективы России // Изв. вузов. Цвет. металлургия. 2018. № 4. С. 31–44.
DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2018-4-31-44.

Gasanov A.A., Naumov A.V., Yurasova O.V., Petrov I.M., Litvinova T.E.

Some trends of the world REE market and prospects for Russia

The paper presents a review of some trends observed on the world market of rare-earth elements (REE). This review takes into account actual changes in the commercial and industrial policy of China and the current trends of REE consumption. Main characteristics of the modern REE markets are considered. The paper provides an assessment of world production volumes, world trade and prices. The article describes the REE market behavior in 2000–2020 and provides a forecast of main indicators and prices up to 2020. It contains a description of current world REE resources, production and trade over the main countries. In addition, the prices and the main buyers of REE are specified indicating the forecast of consumption. The prospects of the Russian REE market are estimated taking into account the «Development of the Rare and Rare-Earth Elements Industry» subprogram implemented as part of the State Program

of the Russian Federation «Industry Development and Competitiveness Improvement». The purpose of the subprogram is to create a competitive rare-earth industry of an integrated production cycle in the Russian Federation in order to satisfy the needs of the domestic defense industry complex, civil industries and enter the foreign markets. It is noted that this subprogram should be upgraded with regard to changes in the market conditions and development of rare-earth elements production in the Russian Federation including by means of statutory, non-tariff and technical regulation. Loparite and apatite will remain the main sources of rare-earth elements as raw materials for industrial processing in Russia in the near future, while REE production from apatite will increase. It is emphasized that the prospects of REE development in Russia consist not so much in increasing the primary production as in establishing new plants consuming rare-earth products.

Keywords: rare-earth elements, market, volumes, demand, consumption, condition of the Russian market.

Gasanov A.A. — Cand. Sci. (Chem.), Senior researcher, Head of the Department of high-purity substances, rare and rare metals, Federal State Research and Design Institute of Rare Metals Industry JSC «Giredmet» (119017, Russia, Moscow, B. Tolmachevskii per., 5/1). E-mail: AAGasanov@giredmet.ru.

Naumov A.V. — Senior researcher, Analyst-researcher, JSC «Giredmet». E-mail: naumov_arkadii@mail.ru.

Yurasova O.V. — Cand. Sci. (Tech.), Head of the Laboratory of branch of high-purity substances, rare metals, JSC «Giredmet». E-mail: OVYurasova@giredmet.ru.

Petrov I.M. — Dr. Sci. (Tech.), General director, «Research group Infomine Ltd.» (109028, Pevtchesky per., 4). E-mail: ipetrov@infomine.ru.

Litvinova T.E. — Dr. Sci. (Tech.), Prof., Physical chemistry department, Mining University, St. Petersburg (199106, Russia, St. Petersburg, 21 line, 2). E-mail: viritsa@mail.ru.

Citation: Gasanov A.A., Naumov A.V., Yurasova O.V., Petrov I.M., Litvinova T.E. Nekotorye tendentsii mirovogo rynka RZM i perspektivy Rossii. *Izv. vuzov. Tsvet. metallurgiya*. 2018. No. 4. P. 31–44.
DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2018-4-31-44.

Введение

Рынок редкоземельных металлов (РЗМ) традиционно пользуется повышенным вниманием как участников рынка, так и аналитиков, начиная от отраслевых и вплоть до политических обозревателей. Это связано с тем, что РЗМ-продукция применяется в самых различных областях — металлургии, стекольной промышленности, микроэлектронике и многих других, что позволяет использовать динамику РЗМ-рынка как макроэкономический индикатор, описывающий состояние самых различных отраслей промышленности. Кроме того, в РЗМ-отрасли раньше многих других стал заметен эффект доминирования Китая, который активно вел на разных этапах самую различную торгово-промышленную политику, что сразу придавало (по крайней мере в глазах аналитиков) всем отраслевым флуктуациям общеполитическое измерение.

Цель настоящей работы — анализ некоторых тенденций мирового РЗМ-рынка с учетом современных изменений в торгово-промышленной политике Китая и мировых тенденций потребления РЗМ в 2000—2017 гг., особенно после ажиотажного всплеска в 2011 г. Существующая в России с 2014 г. программа «Развитие промышленности редких и редкоземельных металлов», по мнению авторов, нуждается в смещении акцентов — с развития соб-

ственно производства РЗМ на территории РФ на проведение мероприятий, направленных на расширение сфер применения отечественных РЗМ в промышленности.

Роль Китая в промышленности РЗМ на современном этапе

По данным USGS (Геологической службы США), в 2017 г. в мире было произведено 130 тыс. т РЗМ в пересчете на оксиды, по другим сведениям — 175 тыс. т, при этом доля Китая составила 83–89 % (в прошлые годы этот показатель доходил до 98 %) [1, 2]. Существуют также значительные нелегальные поставки РЗМ из Китая, достигающие, по оценкам, дополнительных 20–30 тыс. т в год [3].

Основные ресурсы в КНР сосредоточены на Fe—Nb—РЗМ-месторождениях во Внутренней Монголии (Вауан Обо), бастнезитовых месторождениях на севере страны и на месторождениях ионно-абсорбционных руд на ее юге. По оценкам экспертов, в стране сосредоточено около 80 % всех изученных мировых запасов РЗМ наименее распространенной иттриевой группы.

Добыча РЗМ в КНР началась в 1981 г. — было произведено 3 тыс. т оксидов РЗМ при мировом

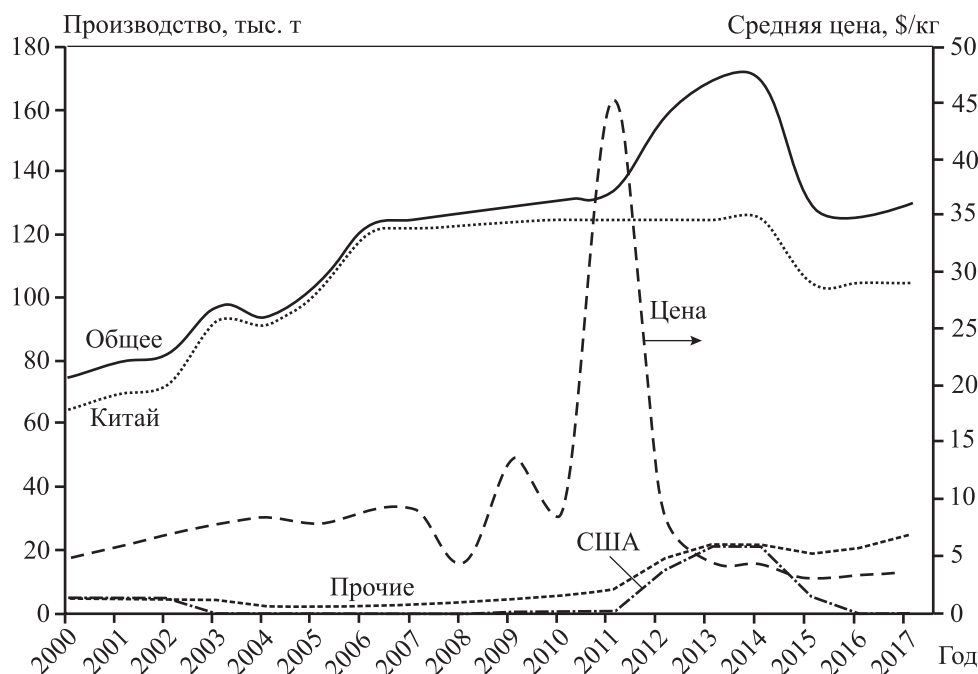


Рис. 1. Официальная добыча РЗМ в мире в период 2000–2017 гг. и динамика средних цен [1]

их производстве 40 тыс. т. В 80–90-х годах XX в. Правительство Китая поддерживало развитие национальной редкоземельной промышленности, которая бурно и часто неконтролируемо росла, поэтому в дальнейшем оно стало жестко координировать деятельность РЗМ-компаний, а также вводить ограничения экспорта для удовлетворения внутреннего спроса.

Редкоземельная отрасль Китая сегодня включает 122 официально зарегистрированные компании, осуществляющие как добычу, так и переработку сырья. Производственные квоты на добычу РЗМ в КНР в 2011–2017 гг. составили 93–95 тыс. т в пересчете на оксиды [4–6]. Правительство страны предпринимает меры для удержания лидерства на мировом рынке РЗМ. Госсовет КНР в 2011 г. принял программу развития редкоземельной отрасли страны. В ней отмечается, что «не устранены факты незаконной добычи, слишком быстро развиваются мощности по выплавке и разделению, что наносит вред окружающей среде, сырье используется нерационально, процедура экспорта достаточно запутана». В связи с этим было поставлено:

- пропагандировать РЗМ-отрасль в качестве стратегически базовой;
- направить политику отрасли на укрупнение предприятий и создание корпораций;

- повышать квалификационный порог для предприятий-экспортеров;
- усилить технологический контроль за экспортом;
- наказывать за перепродажу квот на добычу РЗМ;
- перекрыть каналы нелегального экспорта;
- ужесточить доступ к РЗМ-ресурсам;
- модернизировать систему управления планированием производства;
- бороться против незаконного и сверхпланового производства, а также нанесения экологического ущерба;
- осуществить технологическую модернизацию отрасли;
- увеличить запасы РЗМ и расширить области применения.

Поставки РЗМ на экспорт регулировались квотами Правительства КНР. Экспортная квота в 2013–2014 гг. составляла около 31 тыс. т. В 2014 г. Всемирная торговая организация (ВТО) признала экспортные ограничения со стороны КНР на редкоземельные металлы, вольфрам и молибден, противоречащими нормам ВТО. Арбитражный суд ВТО вынес вердикт о том, что экспортные ограничения противоречат условиям Соглашения о вступлении Китая в ВТО и подлежат отмене. Под давлением ВТО в 2015 г. руководству Ки-

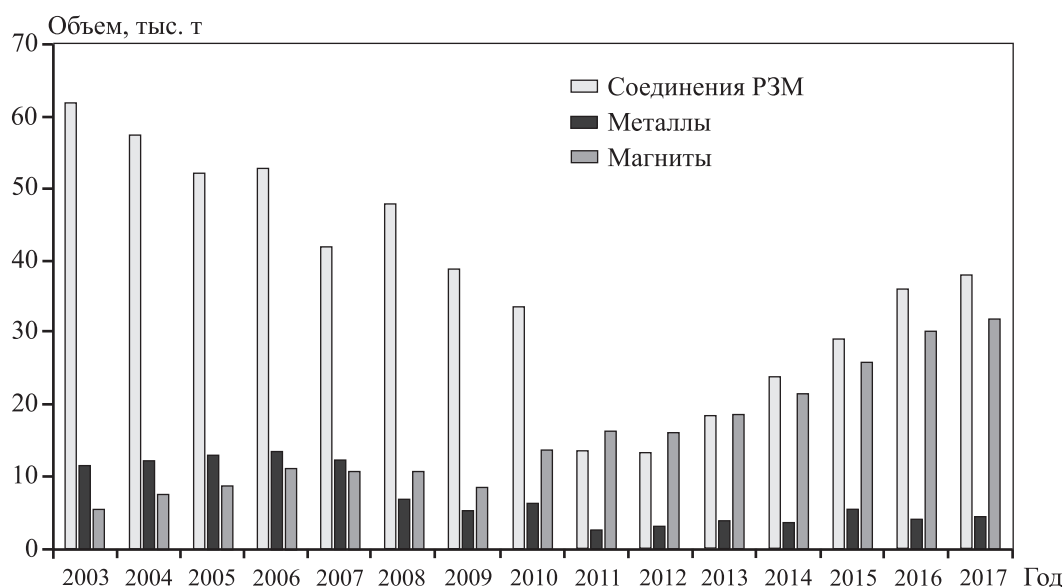


Рис. 2. Динамика поставок РЗМ из Китая в период 2003–2017 гг. [8]

тая пришлось идти на отмену экспортных квот на РЗМ [7].

После периода падения (2003–2010 гг.) и стабилизации экспорта (2010–2012 гг.) вновь произошел рост поставок китайских РЗМ на мировой рынок (рис. 2). Уровень экспорта соединений и металлов превысил 40 тыс. т, одновременно вырос экспорт редкоземельных магнитов — их в 2017 г. было поставлено из Китая около 30 тыс. т.

В объеме китайских поставок РЗМ преобладают магниты и оксиды, среди индивидуальных соединений наибольшая доля поставок приходится на карбонаты и оксиды церия и лантана, а в структуре экспорта металлов основную долю занимают лантан и неодим.

Китай сталкивается с различными вызовами, включая нелегальную добычу, правонарушения в процессе производства редкоземельных металлов, неэффективное использование РЗМ и нанесение ущерба окружающей среде от их производства. В Программе развития редкоземельной промышленности на период 2016–2020 гг., опубликованной в 2016 г., указано, что к 2020 г. годовой объем производства РЗМ будет ограничен в пределах 140 тыс. т. В стране прекратится выдача лицензий на добычу РЗМ новым компаниям, это право останется лишь у 6 действующих крупных предприятий. Также в Программе предусматривается усиление борьбы с правонарушениями в процессе производства и ужесточение контроля за доступом на рынок редкоземельных металлов.

Госсовет Китая принял решение об укрупнении и объединении мелких и средних производителей РЗМ в крупные корпорации. Группа была создана в 2015 г., в нее вошли 6 крупнейших компаний: Китайская алюминиевая корпорация («China Aluminium Corporation»), «Xiamen Tungsten», Баотуская металлургическая компания («Inner Mongolia Baotou Steel Union»), Китайская корпорация металлов и минералов («China Minmetals Corporation»), Ганьчжоуская редкоземельная компания («Ganzhou Rare Earth Group») и Гуандунская корпорация редкоземельной индустрии («Guangdong Rare Earth Industrial Group»).

В 2011–2015 гг. в КНР было закрыто 14 шахт, на которых незаконно добывалась редкоземельная продукция, и 28 перерабатывающих компаний. Было изъято более 36 тыс. т нелегальной РЗМ-продукции и взысканы штрафы на сумму 230 млн юаней.

Министерство промышленности и информатизации КНР поставило цель — к 2020 г. поднять редкоземельную промышленность Китая на новый уровень развития, характеризующийся высокоэффективным использованием ресурсов и производством продукции с высокой добавленной стоимостью. Предполагается, что в 2016–2020 гг. среднегодовой рост производства главных видов функциональных материалов из редкоземельных металлов должен сохраниться на уровне выше 15 %.

В течение текущего 5-летнего периода (2016–2020 гг.) будет увеличено количество инспекций,

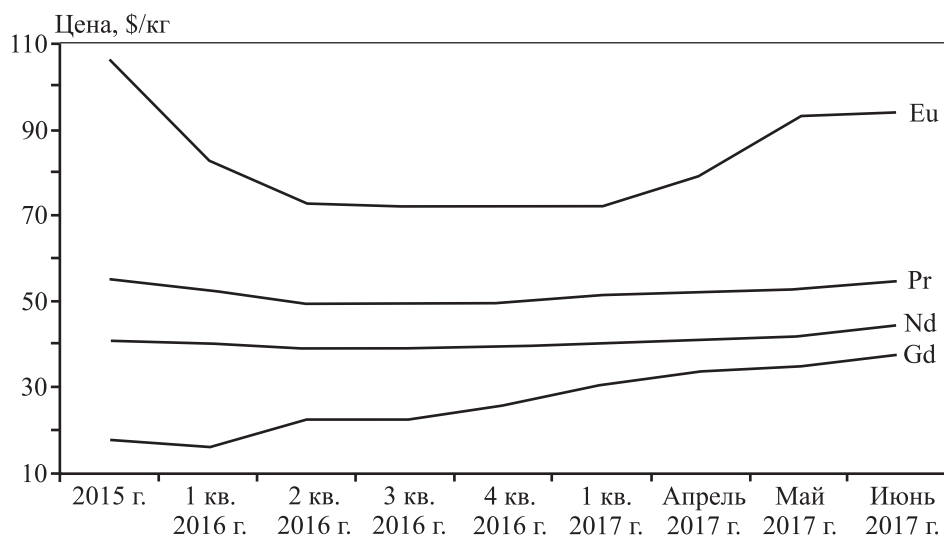


Рис. 3. Динамика цен на отдельные оксиды РЗМ в 2015–2017 гг. [20]

а в ключевых зонах добычи РЗМ внедрена система мониторинга. Также китайские министерства и ведомства применяют тактику «нулевой толерантности» к незаконной добыче редкоземельных металлов. Системы мониторинга будут работать в ключевых добывающих районах: Баян-Обо (Внутренняя Монголия), Ганьчжоу в провинции Цзянси и Маньянин в провинции Сычуань.

Предпринимаемые в Китае меры по борьбе с нелегальной добычей РЗМ начали приносить определенный эффект. Во всяком случае с начала 2017 г. наметился рост цен на отдельные редкоземельные оксиды после долгого периода их падения (рис. 3). К середине 2017 г. избыточные запасы концентратов в стране сократились до уровня 2011 г., а цены на оксиды РЗМ на китайском внутреннем рынке выросли на 50 % и достигли 3-летнего максимума [10, 11].

Производство РЗМ вне Китая

Кроме Китая наиболее крупными производителями РЗМ являются Австралия, Индия и некоторые другие. Австралийская компания «Lynas Corp's» занимается добычей и переработкой металлов легкой цериевой подгруппы. В 2017 г. производство РЗМ в Австралии, по данным USGS, составило 20 тыс. т. Индия является производителем в основном иттрия, который извлекают из монацита, содержащегося в тяжелых прибрежных песках в штатах Kerala, Taminland и Orissa. В 2017 г.

производство РЗМ в Индии, по данным USGS, составило 1500 т [1].

После ажиотажа 2011 г., вызванного сокращением Китаем экспортных квот с 60 тыс. т до 30 тыс. т и приостановкой продаж в Японию, в мире обострился интерес к добыче РЗМ вне Китая. Более 160 компаний в разных странах начали разработки в этой сфере. Однако ажиотаж достаточно быстро закончился после того, как выяснилось, что объективно дефицита нет, а большинство проектов оказались экономически несостоятельными при тех ценах, которые по-прежнему контролировал Китай. Так, например, в США компания «Molycorp», возобновив работу на Mountin Pass в 2012 г., прекратила ее в 2016 г., и США вернулись к экспорту РЗМ из Китая в объеме более 100 тыс. т в год [1, 10].

Ситуация стала меняться в 2017 г., когда цены на наиболее важные редкоземельные элементы с начала года возросли более чем на 50 %. Таким образом, некоторые проекты в данной подотрасли, которые ранее считались непривлекательными, могут снова оказаться рентабельными. В первую очередь это относится к проектам, ориентированным на добычу и обработку тяжелых РЗМ. Так, горнодобывающая компания «Northern Minerals» (Австралия) в 2017 г. подписала меморандум с «Sinosteel Equipment & Engineering Co» (Китай) по добыче и переработке тяжелых РЗМ на месторождении Browns Range. Это будет первым крупным предприятием по добыче и обработке тяжелых РЗМ за пределами Китая. Потенциально успешными оцениваются проекты: в Африке — Ngualla

(компания «Peak Resources»), Songwe Hill («Mkango Resources») и Gakara («Rainbow Rare Earths»); в Канаде — Ashram («Commerce Resources»), Kipawa («Matamec Resources») и Foxtrot («Search Minerals»); в Гренландии — Kvanefjeld («Greenland Minerals & Energy») и ряд других [6, 11, 14].

Современные тренды в некоторых областях применения РЗМ

Основными импортерами редкоземельных концентратов являются страны, активно развивающие наукоемкие отрасли промышленности: энергетику, электронику, оптику и др. К ним относятся в первую очередь Япония, затем Германия, США и Южная Корея.

Применение редкоземельных металлов в ряде областей (металлургия, производство катализаторов для нефтеперерабатывающей промышленности, выпуск перезаряжаемых аккумуляторных батарей) связано с использованием неразделенных РЗМ. Их доля в настоящее время не превышает 30 %.

Во многих отраслях применяются индивидуальные соединения РЗМ, в частности для производства

- каталитических фильтров-нейтрализаторов выхлопных газов автомобилей (церий);
- магнитов и сплавов (самарий, неодим, диспрозий);
- люминофоров (иттрий, европий и тербий);
- оптического стекла (лантан, церий);
- керамики (иттрий);
- высокотехнологичных абразивных материалов (церий).

Из индивидуальных РЗМ наиболее широко применяются «легкие» (церий и неодим) и часть «тяжелых» (самарий, европий, гадолиний, диспрозий, тербий). Ежегодное повышение потребления индивидуальных РЗМ значительно опережает рост использования неразделенных РЗМ [22].

Мировое потребление РЗМ оценивается на уровне 130—155 тыс. т/год (в пересчете на оксиды). Основной его объем в натуральном выражении приходится на выпуск катализаторов, магнитов, производство сплавов (для металлургии и батарей), полирующих материалов и добавок в стекло и оптику [8, 15]. По оценке экспертов, к 2025 г. мировой объем потребления РЗМ может вырасти до 200—250 тыс. т/год, при этом прогнозируется увеличение доли использования этих металлов в магнитах (рис. 4).

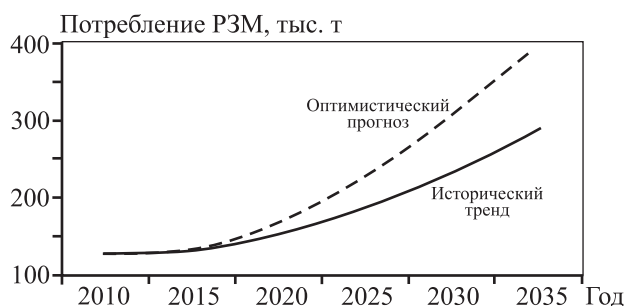


Рис. 4. Прогноз потребления РЗМ [15]

Если рассматривать потребление РЗМ в системе координат глобальной экономики, то аналитики выделяют 3 основные сферы их использования, которые в ближайшие годы будут определять тренды развития подотрасли — это «чистые» технологии (так называемая зеленая энергетика), товары повседневного использования («товары для жизни») и военно-промышленный комплекс (средства вооружения и обороны) (рис. 5).

Считается, что в перспективе спрос на РЗМ будет поддерживаться развитием рынков, базирующихся на экологически чистых технологиях, таких, как производство электромобилей и ветровых турбин. В перспективе прогнозируется резкий рост продаж гибридных автомобилей и электромобилей (PHEV/EV) — до 7 млн шт. в 2020 г., что потребует увеличения поставок РЗМ. В частности, гибридный автомобиль Toyota Prius содержит 2 кг Nd—Fe—В-магнитов и 10 кг La-сплава в аккумуляторе [9, 12].

Для производства одного ветрогенератора на РЗМ-магнитах мощностью 1,5 МВт нужно до 350 кг неодима и диспрозия. Мировая ветроэнергетика развивается достаточно стремительными темпами: в 2017 г. мощности ветроустановок, по данным WWEA, составили уже 539 ГВт (рис. 6). Особенно активен в этом направлении Китай [13, 14].

Анализируя динамику спроса и предложения на неодим, следует отметить, что с 2013 г. скорость роста потребности в Nd₂O₃ несколько выше роста предложения, в связи с чем его стоимость в 2016 г. увеличилась до 40 \$/кг [2]. По некоторым прогнозам, в ближайшие 10 лет потребность в неодиме возрастет с 25 тыс. до 60 тыс. т/год при гораздо меньшем увеличении объемов производства [4, 8].

Говоря о рыночной ценности прочих индивидуальных лантаноидов, следует отметить, что предложение на церий стабильно превышает спрос, и в ближайшие 10 лет изменения ситуации

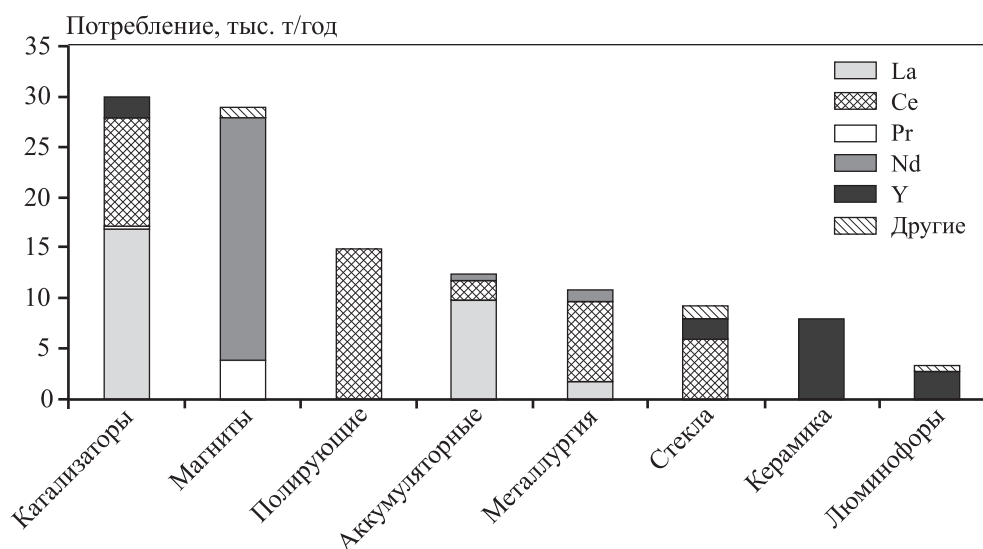


Рис. 5. Потребление РЗМ (в пересчете на оксиды) в различных областях промышленности [8]

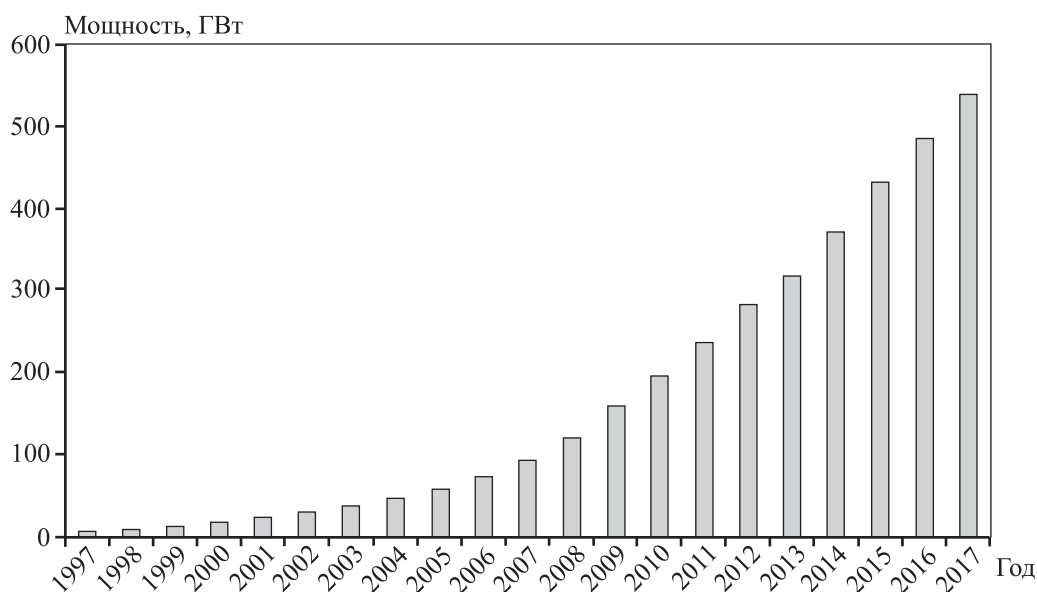


Рис. 6. Динамика мирового рынка ветроэнергетики в период 1997–2017 гг. [13]

не предвидится [4, 20]. Цены на лантан, самарий, европий, эрбий и иттрий в период с I кв. 2016 г. по I кв. 2018 г. существенно не меняются [2]. Наиболее дефицитными на сегодняшний день считаются европий, тербий и диспрозий [5, 13].

Объем потребления РЗМ внутри Китая находится в настоящее время на уровне около 90 тыс. т/год в пересчете на оксиды, к 2020 г. прогнозируется его рост до 125 тыс. т.

Доля Китая в мировом потреблении РЗМ в настоящее время для основных областей использования (магниты, полирующие материалы, люминофоры, добавки в стекло и сплавы) превышает

70 %. Продолжает оставаться существенной роль США и Европы в производстве катализаторов на основе РЗМ, Японии и США — в выпуске керамики с использованием этих металлов [16, 22].

Производство и потребление РЗМ в СССР

В нашей стране создание редкоземельной промышленности началось в 1931 г., когда потребовались значительные количества РЗМ и мишметалла для прожекторной техники и изготовления пиррофорных сплавов. До войны было разработа-

но несколько технологических вариантов извлечения РЗМ из минералов Кольского полуострова — ловчоррита, апатита и лопарита. Основная роль в этом принадлежала Государственному научно-исследовательскому и проектному институту редкометаллической промышленности («Гиредмет», г. Москва), где была организована лаборатория редкоземельных элементов во главе с проф. И.Н. Заозерским, обладавшим глубокими знаниями по химии РЗМ и имевшим опыт по препаративному разделению их смесей. К решению задачи были привлечены и другие ученые — П.И. Процеров, В.А. Рябков и Г.А. Тер-Шмаонов. Были получены первые образцы чистых лантана, неодима, празеодима, концентратов самария и иттриевых земель, разработан и внедрен в производство способ получения фторидов РЗМ из монацита. С пуском этого производства потребность нашей страны во фторидах РЗМ и мишметалле, производимых из отечественного сырья, была удовлетворена.

В послевоенные годы в связи с возникшей потребностью в значительных количествах РЗМ иттриевой подгруппы для создания люминофоров, а также в соединениях лантана, необходимых для развития атомной техники, работы в институте «Гиредмет» возобновились: совершенствовались методы вскрытия исходного сырья — монацита и ксенотима, все лабораторные разработки проверялись сразу в укрупненном масштабе на опытной установке и впервые в Советском Союзе были получены первые тонны чистых оксидов РЗМ цериевой подгруппы. В 1951 г. на базе института «Гиредмет» был создан Всесоюзный научно-исследовательский институт химических техноло-

гий (ВНИИХТ). В результате деятельности научных коллективов обоих институтов (чл.-кор. А.П. Зефирова, проф. С.Д. Моисеев, проф. В.Д. Косынкин, проф. В.Н. Никонов, канд. техн. наук И.И. Ануфриев, Г.Л. Шелихов, канд. хим. наук А.К. Селивановский) были созданы передовые технологии, позволившие государству занять в 1980-е годы 3-е место в мире по выпуску высококачественной редкоземельной продукции.

В 1990 г. в СССР произведено 8,5 тыс. т РЗМ в пересчете на оксиды (рис. 7), из которых 5,5 тыс. т выпущено под эгидой Министерства атомной промышленности СССР и 3 тыс. т — Министерства цветной металлургии СССР.

В СССР эксплуатировалось три основных сырьевых источника:

- Ловозерское месторождение лопаритовых руд в Мурманской обл., которое обеспечивало 75—80 % добычи РЗМ, в основном цериевой группы;
- месторождение «Кутессай-II» с ксенотим-иттросинхизитовыми рудами в Киргизии (около 5 % добычи РЗМ);
- месторождение костного детрита «Меловое» в Западном Казахстане (15—20 % добычи РЗМ) [20, 22].

Лопаритовый концентрат с Ловозерского месторождения перерабатывался на заводе «Силмет» в Силламяэ (Sillamäe) в Эстонии и на Соликамском магниевом заводе, откуда плав хлоридов РЗМ поступал для производства конечной продукции на Иртышский химико-металлургический завод (ИХМЗ, Казахстан) и Пышминский опытный химико-металлургический завод (ОХМЗ «Гиред-

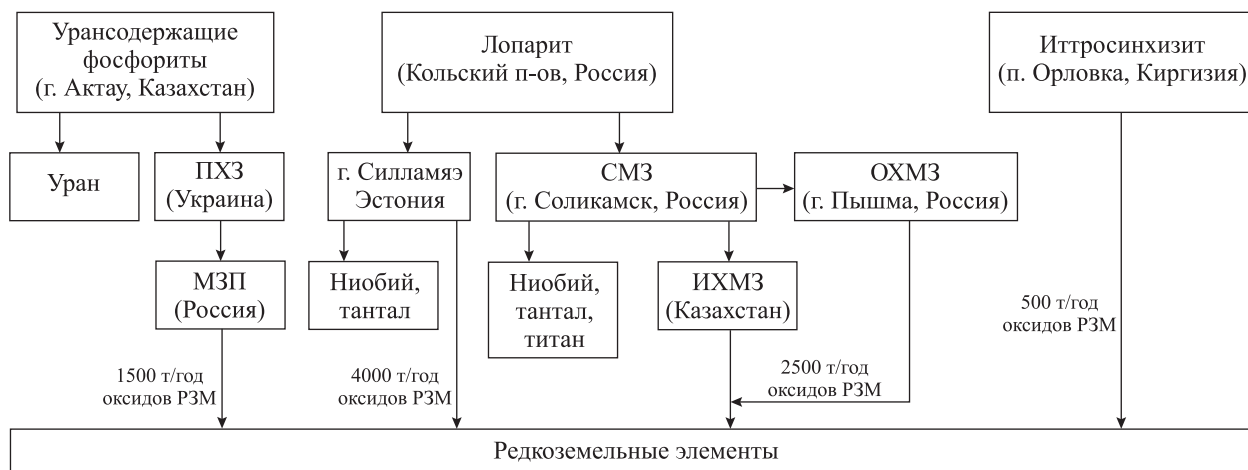


Рис. 7. Структура редкоземельной отрасли в СССР [8]

мет», Россия). Редкоземельный продукт из сырья «Меловое» с Прикаспийского ГМК направлялся в Днепродзержинск на Приднепровский химический завод (ПХЗ, Украина), где цериевые РЗМ извлекались в виде смеси в конечный продукт (для нефтехимической промышленности), а концентрат иттриевых РЗМ поставлялся оттуда на Московский завод полиметаллов (МЗП).

МЗП был основным производителем оксидов РЗМ иттриевой группы и Sm—Co-магнитов, Пышминский ОХМЗ выпускал РЗМ для люминофоров, магнитов и высокотемпературных сверхпроводников (около 30 т в год), Новосибирский завод редких металлов — соли РЗМ; ИХМЗ был главным поставщиком полирующих материалов на основе церия.

С распадом СССР основные производители индивидуальных РЗМ иттриевой группы — Московский завод полиметаллов и Пышминский ОХМЗ — прекратили их выпуск. В начале 1990-х годов была остановлена добыча руд месторождения «Кутессай-II» в Киргизии и костного детрита месторождений Казахстана на Прикаспийском ГМК.

Основным действующим источником редкоземельного сырья в России в настоящее время являются лопаритовые руды Ловозерского месторождения, которые содержат около 1 % оксидов РЗМ. Получаемый из них лопаритовый концентрат содержит 30—31 % оксидов РЗМ. Объем производства концентрата в последние годы вырос до 8 тыс. т, и он в полном объеме поставляется на Соликамский магниевый завод, который в настоящее время выпускает неразделенные карбонаты. Мощность предприятия составляет до 3600 т/год РЗМ в пересчете на оксиды. Завод поставляет карбонаты РЗМ для дальнейшего разделения на «Силмет» (Эстония) и до недавнего времени — в ТОО «Иртышская редкоземельная компания» (бывший ИХМЗ, Казахстан) [23—25].

Современная ситуация с РЗМ в России

По разведанным запасам РЗМ (28 млн т) Россия занимает 2-е место в мире после КНР. На государственном балансе РФ числятся 17 комплексных редкометалльных месторождений. На долю комплексного редкометалльного месторождения Ловозерское (Кольский п-ов) приходится около 26 % запасов РЗМ России, которые характеризуются наличием в основном цериевой группы.

Помимо Ловозерского месторождения большое количество балансовых запасов редкоземельных элементов (около 41 % от всех запасов России) сосредоточено в апатит-нефелиновых рудах Хибинской группы месторождений: Юкспорское, Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр, Олений Ручей и др.

Остальные запасы РЗМ России сосредоточены в редкометалльно-apatитовом Белозиминском месторождении (Иркутская обл.), титановом Ярегском (Республика Коми), редкометалльных месторождениях Улуг-Танзекское (Республика Тыва), Катугинское (Забайкальский кр.) и Томторское (Республика Саха). Весьма перспективным является Чуктуконское Mn—Nb—PЗМ-месторождение, расположенное в Богучанском районе Красноярского края. Среднее содержание Nb₂O₅ в его рудах составляет 0,99 % (в утвержденных запасах редкоземельных руд — 0,60 %), STR₂O₃ — 5,11±±5,34 % (в утвержденных запасах 7,32 %), MnO — 4,45 % [22].

Томторское Sc—Nb—PЗМ-месторождение расположено на севере Республики Саха (Якутия) в экономически не освоенном районе — в 110 км от пос. Эбелях. Оруденение представлено уникальным типом руд в корах выветривания карбонатитов. Основные рудные минералы — пироксид, монацит, ксенотим, крандаллит. По прогнозным ресурсам месторождение является одним из крупнейших в мире. Содержание РЗМ в его рудах достигает феноменальных показателей — до 40 %, составляя в среднем 12,7 %. При этом разведанные запасы РЗМ составляют 154 млн т. Руды Томтора в значительных количествах содержат редкие металлы, в частности скандий (0,05—0,07 %) и ниобий (более 5 %).

Освоение Томторского месторождения редкоземельных металлов входит в число крупнейших инвестпроектов Госкорпорации «Ростех», которая в 2018 г. оценила затраты на его освоение в 560 млн \$. Целевой объем производства определен в 13 тыс т разделенных оксидов РЗМ и 8 тыс. т ниобия. Созданное под проект предприятие «Восток Инжиниринг» (дочерняя компания ООО «Три-Арк Майнинг», Россия) начало разведку на Буранном участке месторождения Томторское в 2015 г. и планирует завершить ее в 2018 г. Всю необходимую там инфраструктуру планируется построить до 2020 г. Для переработки руды Томторского месторождения создано ООО «Краснокаменский гидрометаллургический завод» (также дочерняя компания «ТриАрк Майнинг»). Предполагается,

что новое предприятие сможет ежегодно перерабатывать до 150 тыс. т руды. Выход на производственную мощность запланирован на 2021 г. [26]. На первом этапе предлагается добывать руду зимой, транспортировать ее в Юрюнг-Хая (порт на р. Анабар) и в навигацию по реке доставлять в Дудинку, а затем баржами — до Красноярска-26, где можно производить переработку на горно-химическом комбинате.

Характерной тенденцией российского рынка последних лет является создание небольших промышленных и полупромышленных производств по извлечению РЗМ.

В 2016 г. в ПАО «АКРОН» (г. Великий Новгород) введена в эксплуатацию установка по производству РЗМ. Ее мощность составляет 200 т в год оксидов редкоземельных элементов. В качестве сырья используется апатитовый концентрат, переработанный методом азотно-кислотного вскрытия. Конечными продуктами установки являются церий, лантан, неодим, концентраты легкой, средней и тяжелой групп РЗЭ [17]. В перспективе возможно расширение производства до 5 тыс. т в год оксидов РЗМ.

ГК «Скайград» (г. Королев) создает производство по разделению РЗЭ. Пуск первой очереди установки состоялся в 2017 г. Планируемая производительность составит 130 и 500 т/год по оксидам при запуске первой и второй очередей соответственно. В качестве исходного сырья используются карбонаты РЗМ производства ОАО «СМЗ», а также редкоземельный концентрат, выделенный из отвалного фосфогипса ОАО «ВМУ». Конечной продукцией являются оксиды церия, лантана, неодима, празеодима, раствор лантана для производства катализаторов, концентрат среднетяжелой группы РЗМ. Технологические решения разработаны в рамках совместных работ с АО «Гиредмет» при финансовой поддержке Минобрнауки РФ [18].

В АО «ФосАгро-Череповец» совместно с ООО «НПК «Русредмет» в 2014 г. создана опытно-промышленная установка по извлечению редкоземельных элементов из экстракционной фосфорной кислоты, образовавшейся при переработке хибинских апатитовых концентратов. В 2015 г. проведено ее испытание, позволившее получить порядка 20 т концентратов РЗМ: ~18 т легкой группы и ~2 т среднетяжелой [19].

Также реализует свои проекты по извлечению РЗМ из отходов производства фосфорных удобрений компания АО «ОХК «УРАЛХИМ».

Уровень потребления РЗМ в РФ в целом находится на невысоком уровне и составляет 700—850 т РЗМ в пересчете на оксиды. Подавляющий объем РЗМ в виде соединений, металлов и сплавов наша страна импортирует. Основным поставщиком в Россию РЗМ и их сплавов является Китай — его доля за последние годы составляет от 60 до 90 %.

Основной объем потребления РЗМ в России приходится на выпуск стекла и оптики, а также катализаторов, суммарная доля которых достигает 80—87 %. К прочим областям использования РЗМ в РФ следует отнести металлургию, выпуск магнитов, выращивание искусственных оптических и ювелирных кристаллов, выпуск люминофоров, ядерную промышленность, высокотехнологичную керамику и др.

Одна из особенностей российского редкоземельного рынка — наличие множества потребителей с небольшими объемами и разнообразными требованиями к качеству товаров. Наиболее многочисленными из них — заводы по производству оптического стекла и оптики, использующие абразивные материалы на базе соединений церия. В настоящее время полирующие материалы поставляются из Китая и Европы. В 2017 г. ВНИИХТ объявил о создании участка по производству полировальных порошков из карбонатов РЗМ Соликамского магниевого завода [20, 26].

Относительно крупными отечественными потребителями РЗМ являются нефтеперерабатывающие компании, производящие катализаторы крекинга, — Салаватский катализаторный завод, АО «Газпромнефть-Омский НПЗ» и Ишимбайский специализированный химический завод катализаторов (ИСХЗК).

Соединения неодима, необходимые для получения катализаторов при выпуске полибутадиеновых каучуков (ПАО «Нижнекамскнефтехим», АО «Воронежсинтезкаучук» и др.), импортируются из Японии [21].

Российские металлургические предприятия используют для легирования стали и сплавов импортные мишметалл (с содержанием РЗМ до 93 %) и ферроцерий (до 86—92 %), получаемые из Китая.

Выпуск редкоземельных магнитов в России в настоящее время осуществляют свыше 20 промышленных предприятий. К ним относятся компании, которые производили магниты еще в советское время — ОАО «Спецмагнит», ОАО «Магнит», ОАО «ПОЗ-Прогресс», ОАО НПО «Магнетон», а также образованные еще в 1990-х годах

новые предприятия по производству магнитов — ООО «Валтар Магнит», ООО «Эрга», ЗАО «НПП «Редмаг», ООО «Техномаг», ООО «Фирма Элис» и др.

Российские производители магнитов и магнитопластов из РЗМ в настоящее время используют сырье в виде готовых сплавов и порошков Nd—Fe—В, импортируемых из Китая, при этом поставки «чистых» металлов (неодим, диспрозий, самарий) незначительны. Кроме того, отечественные предприятия импортируют спеченные заготовки Nd—Fe—В [20, 23].

Следует отметить, что в России достаточно долго длится ситуация, когда Соликамский магниевый завод выпускает продукцию РЗМ в виде карбонатов, которые в основном экспортируются. Вместе с тем импортируется другая редкоземельная продукция, востребованная на внутреннем рынке, — диоксид церия, оксид неодима, нитраты РЗМ, мишметалл и др. Поэтому не вызывает сомнения необходимость создания производства разделенных РЗМ на СМЗ. Кроме того, Россия импортирует значительное количество продукции на основе РЗМ, в частности редкоземельные магниты и катализаторы крекинга. Уровень поставок редкоземельных катализаторов хоть и снизился в последние годы, но все равно находится на высоком уровне — около 4 тыс. т (рис. 8).

Подпрограмма «Развитие промышленности редких и редкоземельных металлов», входящая в государственную программу «Развитие промыш-

ленности и повышение ее конкурентоспособности», была утверждена в 2014 г. Ее целью является создание в Российской Федерации конкурентоспособной редкоземельной промышленности полного технологического цикла для удовлетворения потребностей отечественного оборонно-промышленного комплекса, гражданских отраслей промышленности и выхода на зарубежные рынки. Подпрограмма предусматривает обеспечение полного технологического цикла: от добычи и обогащения руды до конечного рыночного продукта. Был сформирован перечень поручений Президента РФ правительству, в котором первый блок касается реализации подпрограммы «Развитие промышленности редких и редкоземельных металлов» государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности». Безусловно разумными представляются уже отчасти выполненные предложения:

— о снижении финансовой нагрузки на российские организации в 2016—2019 гг. при привлечении ими финансовых ресурсов на реализацию инвестиционных проектов в сфере развития производства РЗМ;

— о создании центра компетенций в сфере разделения РЗМ. Решением Госкорпорации «Ростех» в 2015 г. центр компетенций по редкоземельным металлам создан на базе институтов «Гиредмет», «Гипроцветмет», «Гинцветмет», ГИГХС и ВИОГЕМ.

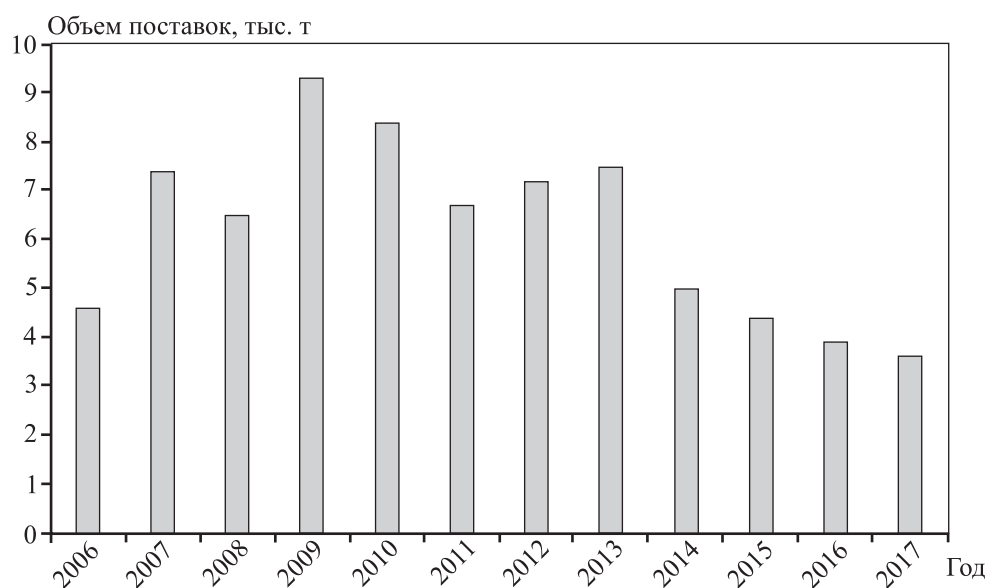


Рис. 8. Динамика импорта Россией катализаторов крекинга в 2006—2017 гг. [21]

Рассмотрен вопрос о снижении ставки налога на добычу полезных ископаемых в отношении редких и редкоземельных металлов. Минприроды России в 2017 г. подготовило поправки в Налоговый кодекс РФ, в котором предлагается снизить ставку НДС с 8 до 4,8 %. Эти меры направлены на стимулирование добычи и производства редких металлов. Проект уточняет перечень редких металлов в Налоговом кодексе РФ и корректирует порядок исчисления ставки налога на добычу полезных ископаемых для редких металлов. Также частично выполнено поручение Президента РФ — совместно с заинтересованными организациями рассмотреть вопрос о доступе компаний, обладающих технологическими возможностями получения редкоземельных металлов при утилизации техногенных отходов, к переработке таких отходов, являющихся собственностью иных компаний [26].

Однако представляется, что это только первый шаг на пути создания гармоничной системы взаимоотношений участников рынка и государства в интересах развития инновационной экономики. Наше понимание проблемы состоит в том, что необходимо актуализировать подпрограмму не только с учетом развития производства РЗМ на территории Российской Федерации, но и (а это самое главное и, видимо, самое сложное) предусмотреть проведение адресных мероприятий, направленных на расширение сфер применения отечественных РЗМ в промышленности, в том числе путем нормативного, нетарифного и технического регулирования.

Заключение

Основными источниками редкоземельного сырья в России для промышленной переработки на ближайший период останутся лопарит и апатит. При этом возможно, что производство РЗМ из апатита будет увеличиваться.

Основным проектом скорей всего будет освоение Томторского месторождения, что позволит России выйти на весомые позиции на мировом рынке. Однако в данном случае необходимо внедрение полного цикла производства с созданием перерабатывающих (и разделительных) мощностей на территории страны.

Мировой рынок РЗМ по характеру приближается к двусторонней олигополии, когда производители и потребители пытаются контролировать

рынок. Нам представляется, что важнейшим является осознание того факта, что перспективы развития РЗМ в России заключаются не только в росте производства первичной продукции, но и в создании новых производств, потребляющих редкоземельную продукцию. Необходимо перенос главного акцента обновленной государственной подпрограммы «Развитие промышленности редких и редкоземельных металлов» на адресные меры расширения сфер применения указанных отечественных металлов в промышленности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках соглашения 14.579.21.0138 (уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI57916X0138).

Литература

1. Rare earths, statistics and information. URL: www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earth/ (дата обращения 21.08.2017).
2. World mineral production 2008-12. UK. British Geological Survey, Nottingham, 2014.
3. Fortier S.M., Gambogi J. Global REE supply chains and material flow // BOA 2-nd Conf. European Rare Earth Resources (ERES 2017). Santorini, Greece. P. 15—16.
4. Wall F. The geology of rare earth deposits and its influence on choosing the best routes for processing // BOA 2-nd Conf. European Rare Earth Resources (ERES 2017). Santorini, Greece. P. 17—18.
5. Bunzli J.G. Rare earth applications: Moving ahead // BOA 2-nd Conf. European Rare Earth Resources (ERES 2017). Santorini, Greece. P. 21—23.
6. Castilloux R. New mines and intra-lanthanide substitutions are key to a sustainable rare earth supply chain // BOA 2-nd Conf. European Rare Earth Resources (ERES 2017). Santorini, Greece. P. 18—21.
7. Pellegrini M., Godlewska L., Millet P., Gislef M., Grasser L. EU potential in the field of rare earth elements and policy actions // BOA 2-nd Conf. European Rare Earth Resources (ERES 2017). Santorini, Greece. P. 12—15.
8. Косынкин В.Д., Трубаков Ю.М., Сарычев Г.А. Прошлое и будущее редкоземельного производства в России. URL: www.esa-conference.ru/wp-content/uploads/files/pdf/Kosynkin-Valerij-Dmitrievich.pdf (дата обращения 21.08.2017).
9. Clean energy and rare earths: Why not to worry. URL: www.thebulletin.org/clean-energy-and-rare-earths-why-not-worry10785 (дата обращения 21.08.2017).
10. China rare earth quarterly. Feb. 17, 2017. URL: www.chinrareearth.com

- secure-metal.smm.cn/production/report/2017/rJiGn20170310112722.pdf (дата обращения 21.08.2017).
11. China to become net importer of some rare earths. URL: www.mining.com/china-become-net-importer-rare-earth/ (дата обращения 21.08.2017).
 12. Full electric vehicle shipments to exceed 2 million by 2020 // ABI Research. 2013. URL: www.abiresearch.com/press/full-electric-vehicle-shipments-to-exceed-2-million (дата обращения 21.08.2017).
 13. *Wadia C., Alivisatos P.A., Kammen D.M.* Materials availability expands the opportunity for large-scale photovoltaics deployment // *Environmental Sci. Technol.* 2009. Vol. 43. No. 6. P. 2072—2077.
 14. Rare earth mining in China: Low tech, dirty and devastating. Mining.com. Retrieved 08/04/2014. URL: www.mining.com/rare-earth-mining-in-china-low-tech-dirty-and-devastating (дата обращения 21.08.2017).
 15. Special issue on rare earths. Rare earth elements: A review of production, processing, recycling, and associated environmental issues. UNCTAD, 2014. URL: www.unctad.org/en/PublicationsLibrary/suc2014d1_en.pdf (дата обращения 21.08.2017).
 16. *Stephen B.C., James B.H.* Rare earth elements. URL: www.fieldexploration.com/images/property/1_RareEarths_FLX_02.pdf (дата обращения 21.08.2017).
 17. URL: www.acron.ru/presscentre/pressrelease/200407/ (дата обращения 21.08.2017).
 18. *Абрамов А.М., Соболев Ю.Б., Галиева Ж.Н., Волобуев О.И., Солодовников А.С., Ячменев А.А.* Создание экспериментального производства по разделению групповых редкоземельных концентратов (ГРЗК) с получением индивидуальных соединений лантана, церия, неодима, празеодима и концентрата среднетяжелой группы РЗЭ // Сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы получения и применения РЗМ и РМ». М., 2017. С. 148—151.
 19. *Левин Б.В., Шибнев А.В., Нечаев А.В., Шестаков С.В., Сибилев А.С.* Создание российской технологии извлечения РЗЭ в процессе серно-кислотной переработки хибинского апатитового концентрата // Сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы получения и применения РЗМ и РМ». М., 2017. С. 229—235.
 20. Обзор рынка редкоземельных элементов (металлов) в СНГ и мире. 10-е изд. М.: ООО «Исследовательская группа «Инфолайн», 2016. URL: www.infomine.ru/research/38/48 (платный доступ) (дата обращения 21.08.2017).
 21. Обзор рынка катализаторов нефтепереработки в России. 3-е изд. М.: ООО «Исследовательская группа «Инфолайн», 2016. URL: www.infomine.ru/research/18/437 (платный доступ) (дата обращения 21.08.2017).
 22. *Петров И.М., Наумов А.В.* Современное состояние мирового рынка редкоземельных металлов и российские перспективы на этом рынке // *Цвет. металлургия.* 2012. No. 2. С. 61—71.
 23. *Юшина Т.И., Петров И.М., Гришаев С.И., Черный С.А.* Обзор рынка РЗМ и технологий переработки редкоземельного сырья // *ГИАБ.* 2015. No. 1. С. 577—605.
 24. *Машковцев Г.А., Быховский Л.З., Рогожин А.А., Темнов А.В.* Перспективы рационального освоения комплексных ниобий-тантал-редкоземельных месторождений России // *Разведка и охрана недр.* 2011. No. 6. С. 9—13.
 25. Годовой отчет (2016 г.). Соликамского магниевого завода. URL: www.смз.рф/report/2017/godovoj_otchet_zh_2016.pdf (дата обращения 21.08.2017).
 26. Перспективы развития в России производства редкоземельных металлов. URL: www.minexrussia.com/2017/ (дата обращения 21.08.2017).

References

1. Rare earths, statistics and information. URL: www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earth/ (accessed 21.08.2017).
2. World mineral production 2008-12. UK. British Geological Survey, Nottingham, 2014.
3. *Fortier S.M., Gambogi J.* Global REE supply chains and material flow. BOA 2-nd Conf. European Rare Earth Resources (ERES 2017). Santorini, Greece. P. 15—16.
4. *Wall F.* The geology of rare earth deposits and its influence on choosing the best routes for processing. BOA 2-nd Conf. European Rare Earth Resources (ERES 2017). Santorini, Greece. P. 17—18.
5. *Bunzli J.G.* Rare earth applications: Moving ahead. BOA 2-nd Conf. European Rare Earth Resources (ERES 2017). Santorini, Greece. P. 21—23.
6. *Castilloux R.* New mines and intra-lantanide substitutions are key to a sustainable rare earth supply chain. BOA 2-nd Conf. European Rare Earth Resources (ERES 2017). Santorini, Greece. P. 18—21.
7. *Pellegrini M., Godlewska L., Millet P., Gislev M., Grasser L.* EU potential in the field of rare earth elements and policy actions. BOA 2-nd Conf. European Rare Earth Resources (ERES 2017). Santorini, Greece. P. 12—15.
8. *Kosyinkin V.D., Trubakov Yu.M., Saryichev G.A.* Proshloe i budushee redkozemel'nogo proizvodstva v Rossii [The past and future of REE production in Russia]. URL: www.esa-conference.ru/wp-content/uploads/files/pdf/Kosyinkin-Valerij-Dmitrievich.pdf (accessed 21.08.2017).

9. Clean energy and rare earths: Why not to worry. URL: www.thebulletin.org/clean-energy-and-rare-earths-why-not-worry10785 (accessed 21.08.2017).
10. China rare earth quarterly. Feb. 17, 2017. URL: www.secure-metal.smm.cn/production/report/2017/rJiGn20170310112722.pdf (accessed 21.08.2017).
11. China to become net importer of some rare earths. URL: www.mining.com/china-become-net-importer-rare-earths (accessed 21.08.2017).
12. Full electric vehicle shipments to exceed 2 million by 2020. ABI Research 2013. URL: www.abiresearch.com/press/full-electric-vehicle-shipments-to-exceed-2-million (accessed 21.08.2017).
13. Wadia C., Alivisatos P.A., Kammen D.M. Materials availability expands the opportunity for large-scale photovoltaics deployment. *Environmental Sci. Technol.* 2009. Vol. 43. No. 6. P. 2072–2077.
14. Rare earth mining in China: Low tech, dirty and devastating. Mining.com. Retrieved 08/04/2014. URL: www.mining.com/rare-earth-mining-in-china-low-tech-dirty-and-devastating (accessed 21.08.2017).
15. Special issue on rare earths. Rare earth elements: A review of production, processing, recycling, and associated environmental issues. UNCTAD, 2014. URL: www.unctad.org/en/PublicationsLibrary/suc2014d1_en.pdf (accessed 21.08.2017).
16. Stephen B.C., James B.H. Rare earth elements. URL: www.fieldexploration.com/images/property/1_RareEarths_FLX_02.pdf (accessed 21.08.2017).
17. URL: www.acron.ru/presscentre/pressrelease/200407/ (accessed 21.08.2017).
18. Abramov A.M., Sobol' Yu.B., Galieva Zh.N., Volobuev O.I., Solodovnikov A.S., Yachmenev A.A. Sozdanie eksperimental'nogo proizvodstva po razdeleniyu gruppovykh redkozemel'nykh kontsentrato (GRZK) s polucheniem individual'nykh soedinenii lantana, tseriya, neodima, prazeodima i kontsentrata srednetyazheloi gruppy RZE [Creation of experimental production on division of group rare-earth concentrates (REEC) with receiving individual compounds of lanthanum, cerium, neodymium, praseodymium and concentrate of the REE medium-weight group]. In: *Sbornik materialov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Aktual'nye voprosy polucheniya i primeneniya RZM i RM»*. Moscow, 2017. P. 148–151.
19. Levin B.V., Shibnev A.V., Nechaev A.V., Shestakov S.V., Sibilev A.S. Sozdanie rossiiskoi tekhnologii izvlecheniya RZE v protsesse sernokislотноi pererabotki khbinskogo apatitovogo kontsentrata [Creation of the Russian technology of extraction of RZE in the course of vitriolic processing of a hibinsky apatite concentrate]. In: *Sbornik materialov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Aktual'nye voprosy polucheniya i primeneniya RZM i RM»*. Moscow, 2017. P. 229–235.
20. Obzor rynka redkozemel'nykh elementov (metallov) v SNG i mire [The review of the market of rare-earth elements (metals) in the CIS and the world. 10-th ed.] Moscow: LLC Issledovatel'skaya gruppa «Infomayn», 2016. URL: www.infomine.ru/research/38/48 (paid access) (accessed 21.08.17).
21. Obzor rynka katalizatorov neftepererabotki v Rossii [The review of the market of catalysts of oil processing in Russia. 3-rd ed.]. Moscow: LLC Issledovatel'skaya gruppa «Infomayn», 2016. URL: www.infomine.ru/research/18/437 (paid access) (assessed 21.08.17).
22. Petrov I.M., Naumov A.V. Sovremennoye sostoyaniye mirovogo rynka redkozemel'nykh metallovo i rossiyskiye perspektivy na etom rynke [The current state of the world market of rare-earth metals and the Russian prospects in this market]. *Tsvet. metallurgiya*. 2012. No. 2. P. 61–71.
23. Yushina T.I., Petrov I.M., Grishayev S.I., Chernyy S.A. Obzor rynka RZM i tekhnologiy pererabotki redkozemel'nogo syr'ya [Review of the market of REE and technologies of processing of rare-earth raw materials]. *GIAB*. 2015. No. 1. P. 577–605.
24. Mashkovtsev G.A., Bykhovskiy L.Z., Rogozhin A.A., Temnov A.V. Perspektivy ratsional'nogo osvoyeniya kompleksnykh niobiy-tantal-redkozemel'nykh mestorozhdeniy Rossii [Prospects of rational development of complex niobium-tantalum-rare-earth fields of Russia]. *Razvedka i okhrana neдр*. 2011. No. 6. P. 9–13.
25. Godovoy otchet. 2016. Solikamskiy magniyevyy zavod [The year's report. 2016. Solikamsk magnesium plant]. URL: www.смз.рф/raport/2017/godovoj_otchet_zh_2016.pdf (accessed 21.08.2017).
26. Perspektivy razvitiya v Rossii proizvodstva redkozemel'nykh metallovo [The prospects of development in Russia productions of rare-earth metals]. URL: www.minexrussia.com/2017/ (accessed 21.08.2017).