

УДК 338.22.021.4

ВЗАИМОСВЯЗЬ “РЗМ–ЭНЕРГОПЕРЕХОД” В КОНТЕКСТЕ ПРОЕКТОВ ПОЛНОГО ЦИКЛА

© 2023 г. В. А. Крюков^а, *, В. А. Яценко^а, **, Я. В. Крюков^а, ***

^аИнститут экономики и организации промышленного производства СО РАН,
проспект Академика Лаврентьева, 17, Новосибирск, 630090 Россия

*E-mail: kryukov@ieie.nsc.ru

**E-mail: yva@ieie.nsc.ru

***E-mail: kryukovyv@ieie.nsc.ru

Поступила в редакцию 05.05.2023 г.

После доработки 22.05.2023 г.

Принята к публикации 25.05.2023 г.

В статье рассматриваются вопросы развития редкоземельной промышленности России. Отмечено, что Россия, располагая значительной ресурсной базой этого вида минерального сырья, не использует в полной мере имеющийся потенциал. Россия экспортирует полупродукты низких переделов, а ввозит товары, содержащие редкоземельные элементы, с высокой добавленной стоимостью. Ключевой проблемой отрасли является незначительный внутренний спрос на редкоземельные металлы. Растущий интерес в мире к возобновляемым источникам энергии создает новые возможности для развития российской редкоземельной отрасли и дает шанс для перехода российской экономики на новый технологический уклад. В основе политики по созданию спроса на редкоземельную продукцию внутри страны авторы предлагают использовать подход, основанный на рассмотрении проектов полного цикла. Подход характеризуется тремя основными особенностями. Во-первых, подход является расширением традиционного проектного подхода и учитывает не столько локальные аспекты отдельного проекта по добыче и переработке руды, сколько его встраивание в экономику страны через систему межотраслевых взаимодействий (мультипликативных эффектов). Во-вторых, по мере роста спроса на продукцию внутри страны и расширения масштабов применения изделий на основе редкоземельных металлов запускается процесс “обучения” – снижаются издержки на добычу, переработку и производство конечной продукции. В-третьих, подход предлагает рассматривать редкоземельные руды в отвалах как псевдофинансовые активы с возможностью управления ими как традиционными экономическими активами.

Ключевые слова: минерально-сырьевой сектор, редкоземельные металлы, цепочки создания стоимости, энергетический переход, ветроэнергетика, полный цикл, инновации

DOI: 10.31857/S0016777023050052, **EDN:** YIEGPI

ВВЕДЕНИЕ

Россия располагает колоссальными ресурсами редкоземельных металлов¹, уступая только Китаю. Однако скромный спрос на это сырье со стороны российской промышленности не дает стимулов к развитию отрасли. Сегодня на экспорт направляются продукты низких переделов, при этом высокотехнологичные изделия, содержащие

РЗМ, в основном импортируются. Таким образом, существенная доля добавленной стоимости формируется не в России, а отечественный редкоземельный потенциал используется не в полной мере.

Вместе с тем у России есть все возможности реализовать этот потенциал. Растущий интерес в мире к возобновляемым источникам энергии создает импульс для развития российской РЗМ-от-

¹ Редкоземельные элементы (РЗЭ) или редкоземельные металлы (РЗМ) 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). 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). В зарубежной литературе можно встретить следующие сокращения: REE – Rare Earth Elements, REM – Rare Earth Metals, RE – Rare Earths, TR – terrae raras (латынь) – “редкие земли”, LREE – light REE, HREE – heavy REE, TREO – Total Rare Earth Oxides.

расли и дает шанс для перехода российской экономики на новый технологический уклад. Кроме того, выход России на глобальный рынок РЗМ крайне востребован – в мире прогнозируется дефицит РЗМ в контексте развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и звучат опасения, что темпы роста предложения этих металлов значительно отстают от планов развития генерирующих мощностей (J. Li и др., 2020; B. Ballinger и др., 2020). “Зеленая” энергетика (прежде всего ветровая) является высокотехнологичной сферой применения чистых РЗМ. Создание в России полных цепочек производства компонентов ветровых установок, ориентированных на внутренний спрос, может стать первым шагом к воссозданию конкурентоспособной отечественной РЗМ-промышленности.

При формировании спроса на РЗМ в России авторы предлагают исходить из подхода, основанного на проектах полного цикла. Такой подход является расширением традиционного проектного подхода и учитывает не столько локальные аспекты отдельного проекта по добыче и переработке руды, сколько его встраивание в экономику страны через систему межотраслевых взаимодействий. Кроме того, предлагается рассматривать проект разработки месторождения, содержащего комплексные руды, с точки зрения управления реальными (сырьевыми) активами для повышения финансовой устойчивости проекта в период колебаний спроса и в условиях ценовой неопределенности на компоненты, содержащиеся в рудах, например, для редкоземельных месторождений.

Авторы исходят из необходимости поэтапного восстановления и развития редкоземельной промышленности в России на основе формирования внутреннего спроса с учетом опыта Китая и других стран. На первом шаге может быть обеспечен выход российской РЗМ-продукции низких переделов на внешний рынок. Доходы от реализации в этом случае должны направляться как на реструктуризацию РЗМ-отрасли, так и на создание условий для наращивания внутреннего спроса на РЗМ. В дальнейшем необходимо развитие цепочки использования РЗМ в экономике (от начальных стадий к получению чистых металлов) с акцентом на повышение ее научно-технического уровня.

РОССИЯ: КОЛОССАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ПРИ НЕЗНАЧИТЕЛЬНОМ СПРОСЕ

Редкоземельная промышленность СССР занимала 3 место в мире по производству продукции (после Китая и США), годовой объем производства составлял 8.5 тыс. т², что соответствовало 17% мирового рынка в 1990-х годах. При этом на

протяжении 70-х и до середины 80-х годов потребление было на уровне около 6 тыс. т в год, в 90-х годах – 8 тыс. т, а после 1991 г. – не превышало 3 тыс. т в год. На протяжении более чем 30 лет использование редкоземельных металлов в России не превышает этот новый уровень, который обеспечивается исключительно за счет импорта.

Основными потребителями РЗМ являются производители катализаторов для нефтехимии (легкие РЗМ – La, Ce, Pr, Nd), металлургии (смешанные РЗМ – например, мишметалл), а также полиритов (оксид церия). В этой связи структура потребления редкоземельного сырья и продукции в России существенно отличается от общемировой структуры, ориентированной преимущественно на производство постоянных магнитов на основе РЗМ (фиг. 1).

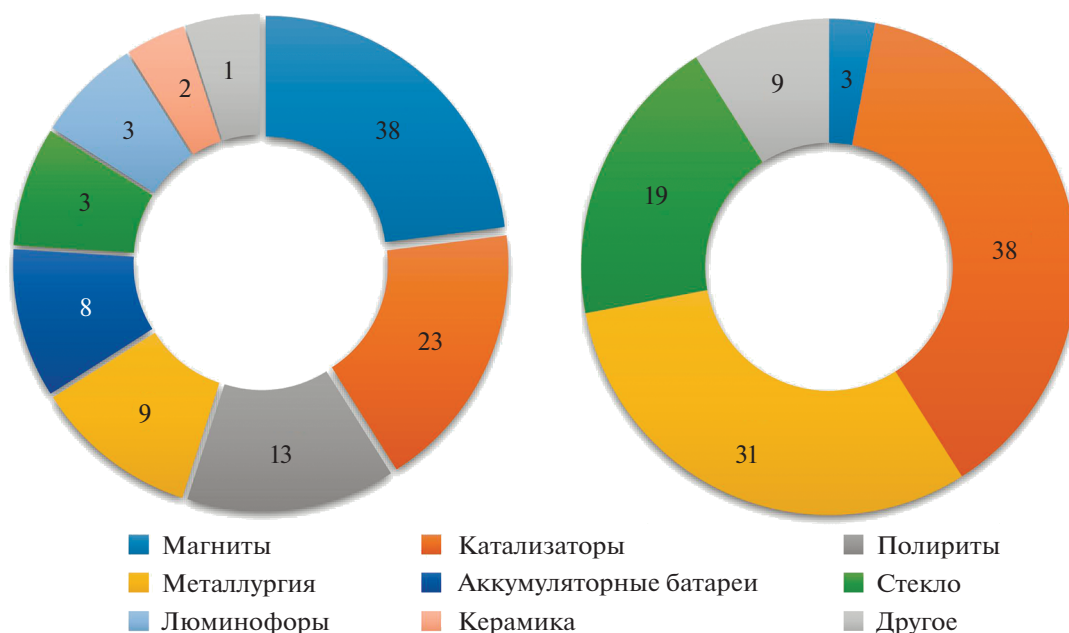
Мировой спрос на редкоземельную продукцию составляет около 200 тыс. т, на производство магнитных сплавов направляется треть этого объема. По некоторым оценкам, спрос на РЗМ в мире может составить 300 тыс. т к 2030 г., а к 2040 г. – 450 тыс. т, при этом на магнитные материалы – 100 и 150 тыс. т соответственно. В действительности рост потребления может быть взрывным и трудно прогнозируемым (International Energy Agency, 2021; Alonso E., 2012, Яценко, Лебедева, 2021).

Также необходимо учитывать, что, во-первых, 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. Во-вторых, в настоящий момент сформирована такая институциональная система, при которой крупные международные компании 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. Таким образом, говоря о глобальном производстве высокотехнологичной продукции на основе РЗМ, подразумеваем, прежде всего, производство в Китае (USGS, 2022; Яценко, Крюков, 2022).

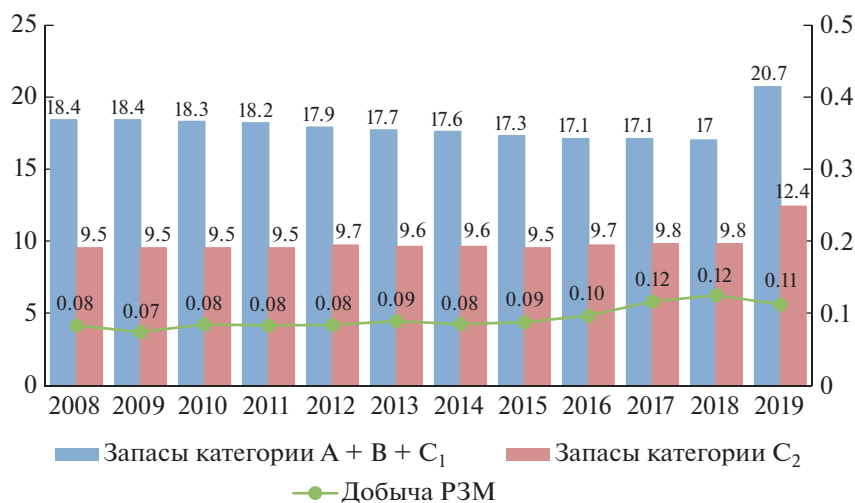
Величина доказанных запасов в мире составляет 120 млн т³, из которых в Китае находится 36.7%, во Вьетнаме – 18.3%, в России и в Бразилии – 17.5%, и только 1.5% в США (USGS, 2022). Причем, согласно национальной классификации минерально-сырьевых запасов и ресурсов, по категориям А, В, С1 и С2 на Государственном балансе запасов полезных ископаемых России учтено 33 млн т (здесь и далее все цифры приведены в

² Здесь и далее все цифры приведены в пересчете на оксиды РЗМ.

³ Согласно классификации минерально-сырьевых запасов и ресурсов США (USGS, 2022).



Фиг. 1. Структура мирового потребления РЗМ (слева) и России (справа) на 2020–2022 гг., %.



Фиг. 2. Динамика запасов и добычи РЗМ в России за период 2008–2019 гг., млн т (на основе данных Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2019, 2020)

пересчете на оксиды РЗМ) на 2019 г., что уже соответствует доле 25% от общемировых запасов РЗМ (Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2019, 2020).

Отечественная статистика показывает, что с 2009 по 2018 гг. 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 (фиг. 2). 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%, поэтому этот вид сырья в основном является попутным компонентом добычи или вовсе не извлекается при отработке месторождения (Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2019, 2020).

После распада СССР в России сложилась парадоксальная ситуация: Соликамский магниевый завод (СМЗ, Пермский край) почти всю редкоземельную продукцию в виде коллективного концентрата карбонатов экспортирует, а оксиды, индивидуальные РЗМ и их соединения импортирует

для производства катализаторов, магнитов, электроники, оптики, керамики и другой продукции с высокой добавленной стоимостью. Отсутствие в стране высокотехнологичных производств и, как следствие, незначительное внутреннее потребление РЗМ не создает стимулов для создания рентабельных мощностей обогащения и выделения РЗМ из концентратов.

ОСНОВНОЙ АКЦЕНТ – НА ДОБЫЧУ И ПРОИЗВОДСТВО КОНЦЕНТРАТА, А НЕ НА ПОЛНЫЙ ЦИКЛ

В настоящее время в России действует единственное предприятие “Ловозерский ГОК” (ЛГОК, Мурманская область), на котором добывают редкоземельную руду и поставляют лопаритовый концентрат на СМЗ. СМЗ отгружает 80% готовой продукции в виде соединений редкоземельных элементов на завод “AS Silmet”⁴ (Эстония), где производится разделение на индивидуальные РЗМ (остальная часть продукции поставляется азиатским партнерам) (ОАО “Соликамский магниевый завод”, 2022).

Основная добыча РЗМ в России (88.9%) ведется на крупнейшем в мире предприятии по производству апатитового концентрата “Апатит”, входящем в холдинговую компанию “ФосАгро”. На втором месте по уровню добычи РЗМ в России – “Северо-Западная фосфорная компания” (СЗФК), входящая в группу компаний “Акрон” (является одним из крупнейших мировых производителей минеральных удобрений). СЗФК обеспечивает 12.6% добычи РЗМ в стране (Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2019, 2020). 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 (ПАО “Акрон”, 2021).

Стоит отметить, что основным побочным продуктом производства минеральных удобрений является фосфогипс. На текущий момент в отвалах накоплено около 200 млн т этого вещества. В отвалах 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 инновацион-

ных технологий” (ЛИТ), которая входит в холдинг “Скайград” (г. Юбилейный, Московская область). “Скайград” планирует создать крупное промышленное производство с объемом переработки до 2 тыс. т в год в г. Пересвет (Московская область) (Группа компаний “Скайград”, 2021).

Перспективным проектом для развития отечественной промышленности также может стать освоение ниобий-редкоземельного месторождения Томтор в Республике Саха (Якутия). Недропользователь – компания “ТриАрк Майнинг”⁵ – планирует выйти на мощность добычи сухой руды 160 тыс. т с получением товарной продукции порядка 20 тыс. т. Товарная продукция будет включать оксиды лантана, церия, празеодима, неодима, концентрат среднетяжелой группы РЗМ, а также концентрат скандия и феррониобия. Для этих целей в 2019 г. в рамках Восточного экономического форума были заключены кредитные соглашения между ВЭБ, “Восток Инжиниринг” (дочерние компании ООО “ТриАрк Майнинг” и 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 (Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2019, 2020; ООО “ТриАрк Майнинг”, 2022).

Важно также отметить, что разработка минерально-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 такого рода инвестирования слишком высокими (Яценко, Крюков, 2022).

ПОДХОД К АНАЛИЗУ НА ОСНОВЕ ПРОЕКТОВ ПОЛНОГО ЦИКЛА: ПРИЛОЖЕНИЕ В СФЕРЕ РЗМ

Одна из ключевых особенностей РЗМ состоит в тесной взаимосвязи и взаимообусловленности процессов обогащения и использования, а также в увязке всех стадий в рамках единой цепочки

⁴ С 2011 г. завод “AS Silmet” принадлежит американской компании “Neo Performance Materials” (ранее “Molycorp”, США)

⁵ 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 “ТриАрк-Майнинг” за 20 млн долл. США (Polymetal International plc, 2020).



Фиг. 3. Проект замкнутого цикла на основе цепочки в минерально-сырьевом секторе.

процессов. В России в настоящее время таких цепочек или нет, или они чрезвычайно коротки, охватывают в основном процессы освоения сырьевых ресурсов и получения полупродуктов.

Проект замкнутого цикла в традиционном понимании приведен на фиг. 3. Проект понимается как приращение добавленной стоимости от добычи руды до производства высокотехнологичных товаров с последующей утилизацией.

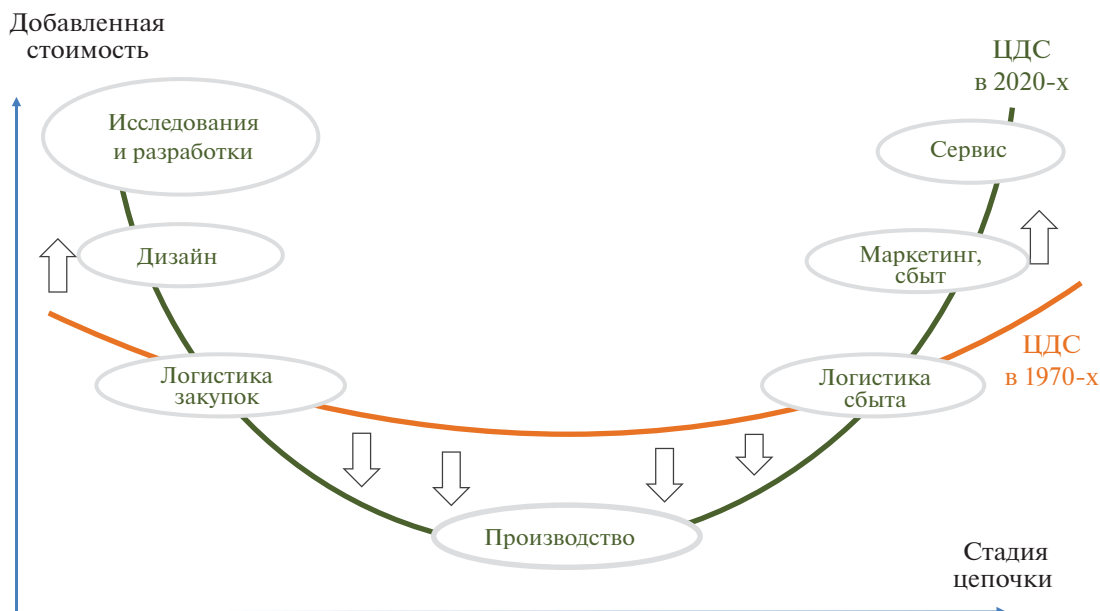
В рамках последовательных этапов цепочки создания стоимости увеличивается ценность каждого следующего промежуточного полупродукта для того, чтобы повысить результирующую ценность изделия на выходе. Такой подход безусловно необходим, но, по мнению авторов, он в недостаточной мере отражает встраивание проекта в экономику страны. Кроме того, традиционный подход менее сконцентрирован на ранних и заключительных этапах (стадиях) цепочки, значение которых с точки зрения вклада в приращение добавленной стоимости за последние десятилетия увеличилось (фиг. 4).

В этом контексте можно говорить не просто о проекте замкнутого цикла, а о расширении рамок проекта — рассмотрении проекта полного цикла. Такая трактовка предполагает анализ вопросов встраивания проектов в экономику страны в тесной взаимосвязи с решением научно-технологических вопросов.

Ключевая направленность подхода, связанного с проектами полного цикла — формирование спроса на конечную продукцию цепочки (в случае РЗМ — оксиды и чистые металлы) и его научно-технологическое обеспечение. Традиционно применительно к РЗМ ведется речь только об удлинении цепочек, а вопросам формирования спроса уделяется недостаточно внимания. Например, при оценивании масштабов проекта прежде всего определяются объемы производства (добычи руды или производства полупродуктов низких переделов), которые требуются для окупаемости проекта. И, как правило, делается вывод, что в текущих условиях для обеспечения окупаемости самое очевидное решение — экспорт полупродуктов, а удлинению цепочек на основе создания спроса нецелесообразно из проектных соображений. Экспорт низкообогащенного сырья допустим, но исключительно на ранней стадии РЗМ-проекта и с гарантией направления части доходов на развитие последующих переделов.

Следует остановиться на трех взаимосвязанных элементах подхода — управлении мультипликативными эффектами, эффекте “обучения” и управлении рудами в отвалах как псевдофинансовыми активами.

Мультипликативные эффекты. Предлагаемый нами подход рассмотрения РЗМ-отрасли с точки зрения совокупности проектов полного цикла позволяет соединить чисто проектное понимание



Фиг. 4. Приращение добавленной стоимости при производстве условного изделия на различных стадиях цепочки: сравнение 1970-х и 2020-х гг.

создания стоимости конечного продукта с вопросами встраивания проектов в систему межотраслевых связей.

Прежде всего, минерально-сырьевой проект полного цикла, цепочка которого локализована в рамках страны, формирует прямые и косвенные мультипликативные эффекты. В России традиционно о мультипликативном влиянии идет речь применительно к нефтегазовым проектам, однако проекты в РЗМ-сфере также потенциально могут рассматриваться как создающие эффект в смежных отраслях.

Мультипликативный эффект РЗМ-проекта состоит в создании новых рабочих мест в рамках всей цепочки создания и развития технологических компетенций. Под прямыми мультипликативными эффектами в этом случае понимаются капитальные затраты, понесенные инвестором в рамках реализации проекта и увеличивающие региональный продукт только территории (региона) реализации проекта. В качестве косвенных эффектов рассматривается связанное увеличение спроса на товары и услуги производств, технологически и логистически связанных между собой, в других регионах страны (Крюков В.А., Крюков Я.В., 2017).

В российском минерально-сырьевом секторе преобладают прямые локальные эффекты, тогда как в западных странах — косвенные. Это различие говорит о том, что в западных странах сырьевой сектор активно вовлечен в реализацию минерально-сырьевых проектов через систему межотраслевых связей, а в России такой взаимосвязи нет по причине коротких цепочек и локали-

зации проектов и их результатов в рамках только территорий реализации проекта. В этом смысле необходимо управление мультипликативными эффектами в экономике в целом для создания спроса на РЗМ-продукцию. Такое управление должно выходить за рамки цепочек производства и потребления РЗМ. Механизм такого управления — создание условий для формирования производства не только высокотехнологичного отечественного горно-шахтного оборудования, но и для стимулирования роста спроса на ветровую энергию как источник спроса на РЗМ-компоненты.

Эффект “обучения”. Рост спроса на конечную высокотехнологичную РЗМ-продукцию обладает еще одним свойством — эффектом “обучения”. По мере увеличения охвата цепочек, связанного с расширением межотраслевых взаимодействий, снижаются издержки на добычу, переработку и производство конечной продукции (в том числе и в РЗМ-сфере). Рост спроса и расширение масштабов применения РЗМ-изделий приводит к появлению новых технологий производства, т.е. запускается процесс “обучения”. Со стратегической точки зрения снижение издержек, вызываемое эффектом “обучения”, обеспечивает преимущество по себестоимости продукции, что ведет к снижению цены, увеличению доли рынка и в конечном счете — к росту прибыли. Пример эффекта “обучения” с точки зрения РЗМ-отрасли — использование неодимовых магнитов в генераторах ветровых установок снижает металлоемкость этих установок и делает ветровую энергию более конкурентоспособной.

Управление комплексными рудами как потенциальными экономическими активами. Руды, содержащие РЗМ, включают комплекс ценных компонентов, по-разному востребованных в зависимости от динамики спроса на конечную высокотехнологичную продукцию, в которой эти компоненты используются. Так, компоненты, имеющиеся на рынке с избытком, более целесообразно держать в отвалах. Это позволяет формировать своего рода портфель активов из непереработанных руд и управлять рудными отвалами как псевдофинансовыми активами. Это не означает, что добыча сдерживается потребностями рынка — часть ценных компонентов хранится, ожидая более экономически привлекательных условий для выхода на рынок. Управление активами в такой форме также возможно в случае, когда растет спрос и отсутствуют мощности по обогащению или не сформирован рынок конечной продукции (российские условия).

В основу предлагаемого подхода также может быть положен опыт Китая по формированию РЗМ-отрасли, сочетающий в себе прагматизм и поощрение инициативы на местах, а также нацеленность на решение внутриэкономических проблем — диверсификацию экономики и рост ее научно-технического уровня.

В процессе создания и развития РЗМ-отрасль Китая прошла через несколько последовательных стадий:

- импульс со стороны государства, нацеленный на рост добычи РЗМ с целью увеличения занятости и формирования основ новой отрасли;
- параллельно — увязка экспорта низкообогащенного сырья с возвратом части доходов на развитие последующих переделов;
- поступательное развитие цепочки использования РЗМ в экономике (от начальных стадий к получению чистых металлов);
- переход на развитие РЗМ-индустрии на основе конкурентного взаимодействия ее участников;
- акцент на повышение научно-технического уровня: в 2022 г. анонсирован пакет государственной поддержки полупроводниковой промышленности (одного из ключевых потребителей РЗМ), составил 143 млрд долл., а его цель — снижение зависимости от зарубежных поставок, переход на самообеспечение и смягчение санкционного давления со стороны США в этой области (Ведомости, 2022).

Поэтапный динамический и сбалансированный подход Китая (с точки зрения взаимосвязи системы мер) к развитию РЗМ-отрасли может быть реализован и в российских условиях. На начальном этапе представляется наиболее важным выход на внешние рынки при условии, что доходы от реализации сырья низких переделов на ран-

них этапах должны направляться на реструктуризацию связанных производств и рост мультипликатора (в части косвенных расходов).

Отправной точкой реализации предложенных мер и шагов может выступать ветровая энергетика как наиболее перспективный потребитель РЗМ-сырья в условиях растущего спроса на “зеленые” технологии.

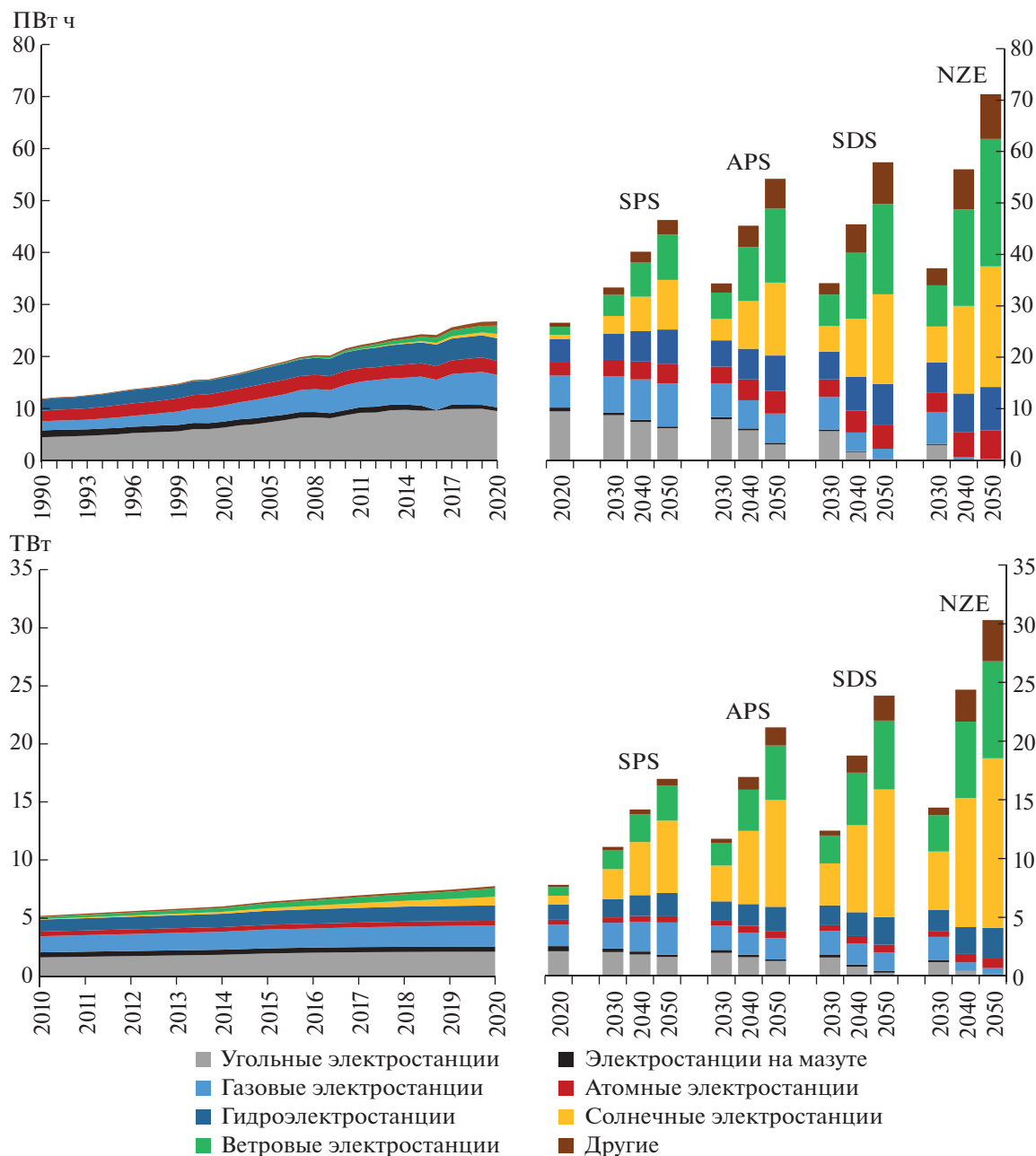
ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА — СТАРТОВЫЙ ИМПУЛЬС РОСТА ВНУТРЕННЕГО СПРОСА НА РЗМ В РОССИИ

В настоящее время одним из ключевых мировых экономических трендов является переход на низкоуглеродное развитие за счет сокращения выбросов парниковых газов и использования экологически чистых технологий производства тепло- и электроэнергии. Эти шаги были окончательно оформлены в рамках Парижского соглашения, подписанного в 2015 г. на 21-й сессии конференции ООН об изменении климата. Очевидно, что переход к новым технологиям производства энергии будет существенным образом влиять на горнодобывающую промышленность, поскольку в основе этого перехода лежит активное использование таких важнейших химических элементов, как медь, никель, литий, кобальт и, конечно, РЗМ. Именно постоянные магниты на основе РЗМ во многом являются ключом к переходу на “зеленую” траекторию развития на базе возобновляемой энергетики. Эти металлы используются в электрических машинах ветрогенераторов, гибридных и электромобилях, производство которых растет с каждым годом.

Энергопереход по сути является перераспределением генерации электроэнергии между различными источниками за счет появления новых технологий, которые позволяют напрямую получать электричество из энергии солнца или ветра. К таким технологиям можно отнести фотогальванические (фотоэлектрические) панели⁶ и ветроэнергетические установки (ВЭУ), которые среди возобновляемых источников энергии по установленным мощностям и объему генерируемой энергии.

Существуют разные оценки развития глобальной структуры энергетики, в которых отчетливо выражены схожие тренды. Например, согласно прогнозам Международного энергетического агентства (МЭА), к концу текущего десятилетия общая установленная мощность SPV-панелей в мире может вырасти более чем в три раза — с 739 до 2550 ГВт, а номинальная мощность ВЭУ, как ожидается, вырастет более чем два раза — с 737 до 1600 ГВт. Причем ожидается, что в совокупности

⁶ Solar photovoltaic или solar PV (SPV).



Фиг. 5. Производство электроэнергии в мире за 1990–2020 гг. (сверху), объем установленной мощности за период 2010–2020 гг. (снизу) и сценарии прогноза согласно данным МЭА до 2050 г. (на основе данных International Energy Agency, 2021)).^{7,8}

⁷ Другие источники производства электроэнергии: из водорода и аммиака, гелиоконцентраторы, геотермальные, морские и аккумуляторные батареи.

⁸ В отчете “The World Energy Outlook-2021” рассматриваются следующие основные сценарии (они не являются точными прогнозами):

– В сценарии The Stated Policies Scenario (SPS) предполагается, что обязательства по сокращению выбросов CO₂ к 2050 г. будут выполнены правительствами всего мира частично.

– В сценарии The Announced Pledges Scenario (APS) предполагается, что все обязательства по сокращению выбросов CO₂ к 2050 г. будут выполнены правительствами всего мира полностью, в том числе на национальном уровне.

– Сценарий The Sustainable Development Scenario (SDS) соответствует сценарию APS. При этом страны с развитой экономикой достигают нулевого уровня выбросов к 2050 г., Китай – к 2060 г., а все остальные страны – самое позднее к 2070 г.

– Сценарий The Net Zero Emissions by 2050 Scenario (NZE) соответствует ключевым целям развития ООН – достижение нулевых выбросов CO₂ к 2050 г. и полного доступа населения к электроэнергии к 2030 г.

Таблица 1. Производство электроэнергии по странам в 2020 г. (первый столбец), рост (второй столбец) и совокупный среднегодовой темп роста (третий столбец) за период 2010–2020 гг.

Страна	Общее производство электроэнергии			Возобновляемые источники энергии			Ветроэнергетика			Солнечная энергетика		
	2020	2010–2020		2020	2010–2020		2020	2010–2020		2020	2010–2020	
	ТВт ч	ТВт ч	%	ТВт ч	ТВт ч	%	ТВт ч	ТВт ч	%	ТВт ч	ТВт ч	%
Китай	7787	3551	5.7	2222	1431	9.8	471	426	23.8	270	269	66.4
Индия	1609	637	4.7	360	200	7.7	68	48	11.8	64	64	79.9
Япония	1003	–161	–1.3	234	119	6.7	8	4	6.5	79	75	31.2
США	4243	–111	–0.6	842	390	4.4	340	245	10.0	117	114	18.0
ЕС	2757	–200	–0.6	1082	410	4.4	398	258	10.0	142	119	18.0
Бразилия	605	89	1.5	515	78	1.5	57	55	35.6	8	8	48.9
Россия	1057	21	0.2	195	25	1.3	1	1	81.7*	2	2	92.2**
Всего	26762	5244	2.0	7593	3342	5.4	1595	1253	15.0	833	801	34.5

Примечание. *За период 2015–2020 гг., **за период 2014–2020 гг.

солнечная и ветровая энергетика дадут 80% от всего прироста (фиг. 5) (International Energy Agency, 2021).

Отдельно стоит выделить китайскую энергетическую программу, в рамках которой за период 2010–2020 гг. производство электроэнергии выросло почти в 2 раза (ветровая генерация – в 10 раз, солнечная – в 270 раз) (табл. 1). Также показателен существенный рост генерации электроэнергии в Индии, в том числе за счет ВИЭ. Суммарно за период 2010–2020 гг. среднегодовой темп роста⁹ выработки электроэнергии в мире составил 2%, а возобновляемых источников энергии – 5.4%. При этом ветроэнергетика показала рост 15%, солнечная энергетика – 34.5%.

Из табл. 1 следует, что ветроэлектростанции (ВЭС) в Китае генерируют 30% от общего производства электроэнергии в мире, в Европе – около 25% и в США – чуть более 21%. В России производство электроэнергии на основе ВИЭ в 2019–2020 гг. составило лишь 1 ТВт ч для солнечной энергетика и 2 ТВт ч для ветроэнергетика, что существенно ниже общемировых значений. Однако наша страна имеет высокий потенциал для развития ВИЭ, поскольку обладает самой большой в мире территорией (17.1 млн км², что немного меньше целого континента – Южной Америки с площадью 17.8 млн км²) с разнообразными климатическими условиями и самым протяженным континентальным шельфом (более 6 млн км²). Кроме того, опыт европейских стран показал, что морской ветер обеспечивает более высокую мощность и менее переменчив, чем береговой. В этой связи строительство ВЭУ на шельфе обладает

экономическими и эксплуатационными преимуществами за счет возможности установки самых мощных генераторов из существующих.

Если с начала 2000-х гг. в России появились производители солнечных панелей¹⁰ с полной технологической цепочкой, которые экспортируют свою продукцию в страны Евразии и Азиатско-Тихоокеанского региона и заняли свою конкурентную нишу, то производителей ВЭУ с полной технологической цепочкой сегодня в стране нет. Бурное развитие национальной ветроэнергетики на основе зарубежных технологий производства в период 2015–2021 гг. (табл. 1) полностью остановилось с 2022 г. Ключевые технологические партнеры в этой сфере – компании Vestas и Siemens Gamesa – разорвали связи с российскими Фондом развития ветроэнергетики (ФРВ)¹¹ и ПАО “Энел Россия”¹² (Российская Ассоциация Ветроиндустрии, 2022).

К сожалению, отечественная ветроэнергетическая отрасль не успела перестроиться и сформировать спрос на критически важные химические элементы. Кроме того, локализация соглас-

¹⁰Производство солнечных батарей в России налажено на разных предприятиях: НПП “Квант” (Москва), ЗАО “Телеком-СТВ” (Зеленоград), ООО “Хевел” (Новочебоксарск), АО “РЗМКП” (Рязань), завод “Сатурн” (Краснодар), ООО “Юнисолэкс” (Краснодар) и др.

¹¹Фонд развития ветроэнергетики (ФРВ) создан на паритетной основе АО “Роснано” и ПАО “Фортум” в целях инвестирования в строительство ветропарков и запуска ветроэнергетических проектов. Управление ФРВ осуществляет ООО “УК “Ветроэнергетика”, принадлежащая партнерам в равных долях.

¹²ПАО “Энел Россия” является генерирующей компанией и ключевым активом Группы Enel в России. Компания обеспечивает электро- и теплоснабжение промышленных предприятий и бытовых потребителей.

⁹Здесь и далее приводятся совокупные среднегодовые темпы роста – compound annual growth rate (CAGR).

но первому нормативному документу, который регламентирует правила рынка – Распоряжению Правительства РФ от 24.10.2020 № 2749-р “О внесении изменений в распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 № 1-р”, не была нацелена на построение производства полного цикла. По сути, предполагалась организация сборочного цеха на импортных комплектующих. По этой причине в полной мере не были реализованы механизмы поддержки на оптовом рынке электроэнергии и мощности России (ОРЭМ). Эти механизмы предполагали конкурсный отбор проектов ВИЭ и заключение с инвесторами договоров о предоставлении мощности квалифицированных генерирующих объектов, функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии (ДПМ ВИЭ).

Стоит отметить компанию АО “НоваВинд”¹³, которая в большей степени продвинулась в части локализации цепочки производства ВЭУ на основе турбин, разработанных голландским технологическим партнером Lagerwey Systems B. V. В 2023 г. по итогам конкурсного отбора проектов в сегменте ветроэнергетики единоличным победителем отбора стало ООО “Уралэнергосбыт”, которое должно будет ввести почти 0.74 ГВт мощностей ВЭС в России до 2030 г. (АО “АТС”, 2013). При этом 50% этой компании принадлежит ПАО “Фортум”, основанному финским энергетическим концерном Fortum, который находится в процессе ухода с российского рынка и не собирается инвестировать в российскую ветроэнергетику (Fortum, 2023). Это значит, что все инвестиции и локализация производственной цепочки российской компании АО “НоваВинд” оказались невостребованными в России, и, вероятно, наша ветроэнергетика будет дальше развиваться за счет готовых решений китайской промышленности.

Для отечественной промышленности технологическая зависимость на этой стадии не заканчивается, поскольку для всех электрических машин ВЭУ требуются постоянные неодимовые магниты. Например, ветрогенератору LP2 L100-2.5 (АО “НоваВинд”) необходимо 8.3 тыс. магнитов данного типа, общий вес которых составляет 3.3 т. Это означает, что компании АО “НоваВинд” было бы необходимо 680–980 т неодимовых магнитов за период 2025–2029 гг., если бы компания победила в конкурсном отборе вместо ООО “Уралэнергосбыт”.

¹³АО “НоваВинд” – дивизион Госкорпорации “Росатом”, основная задача которого – консолидировать усилия Госкорпорации в передовых сегментах и технологических платформах электроэнергетики и в том числе – в ветроэнергетике. Совместное предприятие компании АО “НоваВинд” и голландского технологического партнера Lagerwey Systems B. V. (дочерняя компания немецкого ветроэнергетического гиганта Enercon GmbH) – Red Wind B. V., локализовало производство ВЭУ в России на основе турбин, разработанных Lagerwey Systems B. V.

После распада СССР в России осталось несколько промышленных предприятий, обладающих необходимыми технологическими компетенциями и требуемым оборудованием для производства магнитов на основе РЗМ. Однако большая часть из них остановила производство и занимается механической обработкой из заготовок с дальнейшей перепродажей. Сегодня уровень производства в стране, по нашим оценкам, составляет не более 200–300 т в год. Основная проблема заключается в том, что Россия не располагает полной цепочкой производства редкоземельной продукции, поэтому все сырье для производства магнитов импортируется (например, быстрозакаленный порошок, получение чистого железа и бора). Это ставит российскую высокотехнологичную промышленность в зависимость от импортной редкоземельной продукции (прежде всего китайской). Кроме того, во многих отраслях был потерян интеллектуальный потенциал: технологии, специализированное оборудование и возможности их эффективного создания.

Такая ситуация в российской промышленности вынуждает крупные государственные компании, обладающие необходимыми научно-технологическими компетенциями, осуществлять поэтапную локализацию производства постоянных магнитов (неодимовых, самарий-кобальтовых и иных) для ключевых потребителей. Так, в рамках контракта между компаниями ООО “Элемаш Магнит”¹⁴ и Red Wind B. V.¹⁵ планируется создать производство постоянных магнитов полного цикла. Холдинг “Росэлектроника”, входящий в структуру ГК “Ростех”, также обладает всеми необходимыми компетенциями для производства редкоземельных магнитов на базе АО “Спецмагнит” и АО “НПП Исток им. А.И. Шокина”.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основная проблема российских проектов в сфере производства РЗМ связана с тем, что в стране отсутствуют взаимосвязанные и взаимодополняющие цепочки, которые бы выходили на конечные изделия, связанные с формированием

¹⁴Дочернее предприятие ПАО “Ковровский механический завод”, входящее в Топливную компанию “ТВЭЛ” государственной компании “Росатом”, которое специализируется на изготовлении наукоёмкой и технически сложной продукции.

¹⁵АО “НоваВинд” – дивизион Госкорпорации “Росатом”, основная задача которого – консолидировать усилия Госкорпорации в передовых сегментах и технологических платформах электроэнергетики и в том числе – в ветроэнергетике. Совместное предприятие компании АО “НоваВинд” и голландского технологического партнера Lagerwey Systems B. V. (дочерняя компания немецкого ветроэнергетического гиганта Enercon GmbH) – Red Wind B. V., локализовало производство ВЭУ в России на основе турбин, разработанных Lagerwey Systems B. V.

рынка для внутреннего потребления при реализации этих уникальных проектов. Ключом к решению этой проблемы является формирование нишевых рынков, цепочек взаимодействия и процедур, которые были бы ориентированы на учет взаимных интересов участников РЗМ-цепочки (не только производителей, но и конечных потребителей высокотехнологичных изделий). Примером такого перспективного нишевого рынка является “зеленая” энергетика.

Долгое время в России применительно к отраслям минерально-сырьевого сектора рассматривался “рыночный” вариант формирования цепочек. Вариант исходит из того, что институциональная среда сама регулирует все процессы и взаимодействия, а цепочки формируются во многом стихийным образом. По нашему мнению, такой подход подтвердил свою нежизнеспособность — в России не сформирована соответствующая институциональная среда. В современных условиях целесообразен эволюционный (поэтапный) путь перехода к взаимодействию разных участников цепочки в РЗМ-отрасли.

Начальный этап этого пути предполагает стимулирование спроса на РЗМ, регулирование и сопровождение со стороны государства и по мере развития — уменьшение форм прямого воздействия. Следует понимать, что отдача от РЗМ-проектов не может быть сиюминутной и вопросы эффективности проектов на первом этапе не могут являться приоритетными. Со временем сыграет роль эффект “обучения” — по мере роста спроса на конечную продукцию и развития технологических компетенций будут снижаться издержки и расти эффективность отдельных проектов.

Также России следует ориентироваться на политику Китая в вопросах создания РЗМ-отрасли. Ключевыми элементами этой политики является ориентация на действие мультипликатора и расширенное понимание проектного цикла. В Китае принята долгосрочная система шагов и мер по выводу страны в число ведущих производителей не только первичных материалов и руды, содержащей редкие земли, но и чистых металлов, а также комплекующих и изделий. Однако это требует иной управленческой парадигмы.

По нашему мнению, в России такой парадигмой может быть развитие РЗМ-индустрии через создание спроса в контексте проектов полного цикла. Это может быть поэтапный поступательный подход, который включает гибкое сочетание объемов выпуска на начальных и последующих переделах — как с позиции экспорта, так и (прежде всего) развития внутреннего рынка высокотехнологичной продукции. Принципиально важным также представляется встраивание вопросов использования РЗМ в условия недропользования.

Подход на основе проектов полного цикла на примере РЗМ-индустрии предполагает встраивание проектов в систему межотраслевых связей на уровне экономики в целом. Это может быть реализовано на примере продуктов на основе неодиума, востребованных в быстрорастущей сфере ветровой генерации электроэнергии. На первом шаге может быть обеспечен выход на внешние рынки продуктов низких переделов с условием направления доходов от реализации целевым образом на развитие спроса внутри страны. Также подход исходит из важности научно-технической составляющей и возможности применения портфельного подхода к управлению стоимостью продуктов переработки комплексных руд.

БЛАГОДАРНОСТИ

В статье представлены результаты исследования, выполненного в ИЭОПП СО РАН в рамках Проекта 5.6.3.2. (0260-2021-0004) “Ресурсные территории Востока России и Арктической зоны: особенности процессов взаимодействия и обеспечения связанности региональных экономик в условиях современных научно-технологических и социальных вызовов”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- “Акрон” останавливает производство редкоземельных элементов в Великом Новгороде [Электронный ресурс]. ПАО “Акрон”: [Сайт]. URL: https://www.acron.ru/press-center/press-releases/200802/?sphrase_id=34334 (дата обращения: 06.07.2021).
- Ветроэнергетика [Электронный ресурс]. Российская Ассоциация Ветроиндустрии: [Сайт]. URL: <https://ra-wi.ru/windpower> (дата обращения: 05.02.2022).
- Годовые отчеты [Электронный ресурс]. ОАО “Соликамский магниевый завод”: [Сайт]. URL: <https://smw.ru/shareholder/everyyear> (дата обращения: 24.06.2022).
- Государственный доклад “О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году” [Электронный ресурс]. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации: [Сайт]. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennyye_doklady/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_2020 (дата обращения: 10.04.2023).
- Государственный доклад “О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2019 году” [Электронный ресурс]. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации: [Сайт]. URL: http://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii (дата обращения: 21.02.2021).
- Добыча [Электронный ресурс]. ООО “ТриАрк Майнинг”: [Сайт]. URL: <https://www.threearc.ru/ru/dobycha-rudy.php> (дата обращения: 12.09.2022).
- Китай планирует пакет помощи полупроводниковой промышленности на \$143 млрд [Электронный ресурс] //

“Ведомости”, 14.12.2022 г. [Сайт] <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2022/12/14/955135-kitai-plan-iruet-paket-pomoschi-poluprovodnikovoi-promishlennosti> (дата обращения: 20.12.2022).

Крюков В.А., Крюков Я.В. Как раздвинуть рамки арктических проектов // ЭКО. 2017. № 8. С. 5–30.

Приобретение 9.1% доли в проекте Томтор [Электронный ресурс]. Polymetal International plc: [Сайт]. URL: <https://www.polymetalinternational.com/ru/investors-and-media/news/press-releases/19-03-2020> (дата обращения: 26.03.2020).

Производство [Электронный ресурс]. Группа компаний “Скайград”: [Сайт]. URL: <http://rzm.sky-grad.ru/factory/proizvodstvo> (дата обращения: 14.05.2021).

Результаты отборов проектов [Электронный ресурс]. АО “АТС” [Сайт]. URL: <https://www.atsenergo.ru/vie/proresults> (дата обращения: 01.04.2023).

Яценко В.А., Крюков Я.В. Фрагментация и консолидация производственных цепочек в мировой редкоземельной промышленности // Горная промышленность. 2022. № 1. С. 66–74.

<https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1-66-74>

Яценко В.А., Лебедева М.Е. Прогноз динамики спроса на мировом рынке редкоземельных металлов // Мир экономики и управления. 2021. Т. 21. № 4. С. 124–145. <https://doi.org/10.25205/2542-0429-2021-21-4-124-14>

Alonso E. и др.. Evaluating Rare Earth Element Availability: A Case with Revolutionary Demand from Clean Technologies 2012.

<https://doi.org/10.1021/es203518d>

Li J., Peng K., Wang P., Zhang N., Feng K., Guan D., Meng J., Wei W., Yang Q. Critical Rare-Earth Elements Mismatch Global Wind-Power Ambitions [Electronic resource]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332220302980> (accessed: 15.02.2023).

Fortum’s Russian joint venture has participated in a local wind auction – Fortum will not invest in Russia [Electronic resource]. Fortum: [Site]. URL: <https://www.fortum.com/media/2023/04/fortums-russian-joint-venture-has-participated-local-wind-auction-fortum-will-not-invest-russia> (accessed: 19.04.2023).

Rare Earths Statistics and Information [Electronic resource]. National Minerals Information Center: U.S. Geological Survey. URL: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/rare-earths-statistics-and-information> (accessed: 30.08.2022).

The role of critical minerals in clean energy transitions [Electronic resource]. International Energy Agency (IEA): [Site]. URL: <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions> (accessed: 11.04.2022).

Ballinger B., Schmeda-Lopez D., Kefford B., Parkinson B., Stringer M., Greig C., Smart S. The vulnerability of electric-vehicle and wind-turbine supply chains to the supply of rare-earth elements in a 2-degree scenario [Electronic resource]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352550919304713> (accessed: 15.02.2023).

World Energy Outlook 2021 [Electronic resource]. International Energy Agency: [Site]. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021> (accessed: 11.03.2022).