

УДК 334.7

DOI 10.25587/SVFU.2023.89.71.005

Цепочки полного цикла для стратегического минерального сырья – новые возможности для Российского Севера

Я. В. Крюков ✉

Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН
г. Новосибирск, Россия

Научно-исследовательский институт региональной экономики Севера
Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова
г. Якутск, Россия

✉ kryukovyv@ieie.nsc.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы взаимосвязи мирового энергетического перехода и возможностей России и ее северных регионов по выходу на мировые рынки стратегического сырья и компонентов, необходимых для зеленой экономики. Показано, что ускорение энергетического перехода в развитых странах ведет к повышенному спросу на стратегические металлы и их соединения (прежде всего, РЗМ и литий). Отмечено, что солнечная и ветровая энергетика становятся крупнейшими производителями энергии в мире. Благодаря этим процессам страны, обладающие технологическими компетенциями и ресурсными возможностями в сфере «зеленых» металлов, могут значительно укрепить потенциал собственных отраслей-производителей и потребителей стратегического сырья. Растет роль технологических цепочек добавленной стоимости, локализованных в рамках страны. Особенностью России является дисбаланс между добычей стратегического сырья и производством высокотехнологичной продукции на его основе. Это выражается во фрагментированном характере цепочек добавленной стоимости. Предложены направления эволюционного пути перехода к взаимодействию разных участников цепочки на основе формирования цепочек полного цикла, ориентированных на создание спроса на высокотехнологичное сырье внутри страны. Отмечено, что месторождения стратегического сырья северных регионов России могут и должны быть в основе цепочек «от добычи руды до производства высокотехнологичных изделий».

Ключевые слова: энергетический переход, цепочки создания стоимости, высокотехнологичный продукт, зеленая энергия, редкоземельные металлы, минерально-сырьевой сектор, литий, экономика предложения, стимулирование спроса.

Источник финансирования. Статья подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по проекту государственного задания FSRG-2023-0025 «Современные методы математического моделирования и их приложения».

Для цитирования: Крюков Я. В. Цепочки полного цикла для стратегического минерального сырья – новые возможности для Российского Севера. Арктика XXI век. Гуманитарные науки. 2023, № 3(33). С. 59–83. DOI: 10.25587/SVFU.2023.89.71.005

Full-cycle chains of strategic mineral raw materials – new opportunities for the Russian North

Y. V. Kryukov ✉

Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS

Novosibirsk, Russia

Institute of Regional Economy of the North of the M.K. Ammosov

North-Eastern Federal University

Yakutsk, Russia

✉ kryukovyv@ieie.nsc.ru

Abstract. The paper analyzes the relationship between the global energy transition and the possibilities of Russia and its northern regions to enter the world markets for strategic raw materials and components necessary for a green economy. The acceleration of the energy transition in developed countries leads to an increased demand for strategic metals and their compounds (primarily REM and lithium). Solar and wind energy are becoming the largest energy producers in the world. Thanks to these processes, countries with technological competencies and resource capabilities in the field of «green» metals can significantly strengthen the potential of their own industries-producers and consumers of strategic raw materials. The role of technological value chains localized within the country is growing. A feature of Russia is the imbalance between the extraction of strategic mineral raw materials and the production of high-tech products based on it. This means the fragmented nature of value chains. The directions of the evolutionary path of transition to the interaction of different participants in the chain are proposed based on the formation of full-cycle chains focused on creating demand for high-tech raw

materials within the country. Thus, the deposits of strategic raw materials in the northern regions of Russia can and should be based on chains «from ore mining to the production of high-tech products».

Keywords: energy transition, value chains, high-tech product, green energy, rare earth metals, minerals sector, lithium, supply-side economics, demand stimulation.

Financing source. The article was prepared with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the draft state assignment No. FSRG-2023-0025 titled «Contemporary methods of mathematical modeling and its applications».

For citation: Kryukov Y. V. Full-cycle chains of strategic mineral raw materials – new opportunities for the Russian North. Arctic XXI century. Humanitarian sciences. 2023, No. 3(33). P. 59–83. DOI: 10.25587/SVFU.2023.89.71.005

Введение

В своем выступлении на Петербургском международном экономическом форуме в 2023 г. президент РФ В. В. Путин подчеркнул, что в современных условиях идет речь о переходе на качественно новый уровень развития России, о формировании суверенной экономики, которая не только реагирует на рыночную конъюнктуру и учитывает спрос, а сама формирует этот спрос.

Речь идет о переходе к экономике предложения, которая предполагает масштабное наращивание производительных сил и сферы услуг, повсеместное укрепление инфраструктурной сети, освоение передовых технологий, создание новых современных индустриальных мощностей и целых отраслей [9]. Это позволит создать экономический рост через максимальное расширение производства качественных и современных товаров и услуг, а также обеспечить рост качественного предложения ростом качественного спроса.

Необходимо принимать во внимание также и то, что мир не стоит на месте. Например, ускоренными темпами растут мощности возобновляемой энергетики (ВИЭ). Так, в 2022 г. мировая возобновляемая генерация увеличилась на 7,8 %, что является самым высоким темпом роста за 30 лет. В этой связи стремительными темпами растет спрос на стратегическое сырье. За последние пять лет мировой спрос на металлы и минералы, применяемые в чистых технологиях, увеличился в два раза.

К сожалению, Россия существенно отстает от мировых лидеров как по развитию «новой» энергетики, так и по объемам производства и переработки стратегического сырья. Это связано с отсутствием в стране цепочек полного цикла «от руды до высокотехнологичного изделия»

с акцентом на внутренний спрос. Отдельные фрагменты таких цепочек сохранились с советского периода и частично усовершенствовались в течение последних десятилетий, однако по многим позициям стратегического сырья Россия экспортирует продукты низких переделов, а ввозит изделия с высокой добавленной стоимостью.

Примером реализации промышленной политики в этой сфере для России может являться Китай, который за короткий период в рамках системы продуманных мер и шагов сконцентрировал в стране большинство цепочек стратегического сырья, а по некоторым видам сырья обеспечил себе монопольное положение на мировых рынках. Россия располагает крупнейшими запасами стратегических ресурсов для «зеленого» перехода (например, редкоземельными металлами (РЗМ) и литием), но предъявляет незначительный внутренний спрос на высокотехнологичные изделия из этого сырья.

Долгое время в России применительно к отраслям минерально-сырьевого сектора рассматривался «рыночный» вариант формирования цепочек. Вариант исходит из того, что институциональная среда сама отрегулирует все процессы и взаимодействия, а цепочки сформируются 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.

Геополитические события 2022 г., следствием которых стал разрыв многих цепочек поставок, позволяют взглянуть по-новому на эту проблему: у России появился шанс не только создать внутренние источники спроса на высокотехнологичное сырье на базе собственных источников, но и воспользоваться растущим мировым спросом на стратегическое сырье в связи с «зеленым» переходом. Речь как раз о возможностях формирования спроса и трансформации экономики в экономику предложения.

В этих процессах северные и арктические регионы России выходят на первый план, ведь именно там сконцентрированы крупнейшие запасы стратегического сырья. Именно они являются первым звеном тех цепочек добавленной стоимости, которые предстоит сформировать для обеспечения экономического роста через обеспечение роста качественного предложения ростом качественного спроса.

«Зеленая» энергетика будет предъявлять повышенный спрос на стратегическое минеральное сырье

Роль мощностей ВИЭ в мире неуклонно растет, причем в последние годы скорость роста значительно увеличилась – солнечная и ветро-

вая энергетика становятся крупнейшими производителями энергии в мире. Так, по оценкам компании BP, по самому консервативному сценарию суммарная доля солнца и ветра в генерации в 2050 г. составит 46 %, в двух других сценариях – 67 % и 68 % [10].

Около 2,8 трлн долл. будет инвестировано в энергетический сектор во всем мире в 2023 г., из которых более 1,7 трлн долл. будет направлено на чистые технологии, включая возобновляемые источники энергии, электромобили, атомную энергетику, сети, хранение энергии, топливо с низким уровнем выбросов, повышение эффективности и тепловые насосы. Оставшаяся часть – чуть более 1 трлн долл. – будет инвестирована в уголь, газ и нефть [18]. Безоговорочным мировым лидером этого процесса является Китай (рис. 1).

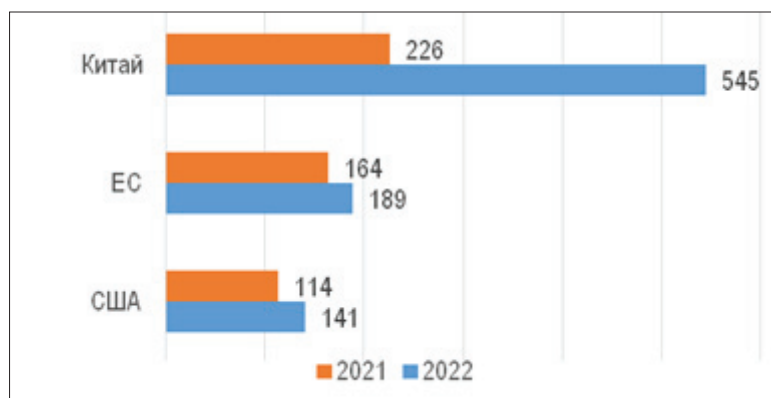


Рис. 1. Инвестиции в «энергетический переход», млрд долл.

Pic. 1. Investments in the «energy transition», billion dollars

Источник: Energy transition investment trends. – URL: <https://about.bnef.com/energy-transition-investment/#toc-report>.

Международное энергетическое агентство (МЭА) прогнозирует, что в 2024 г. сектор возобновляемых источников энергии может достичь исторического рубежа, опередив угольную генерацию в качестве крупнейшего производителя электроэнергии в мире. МЭА также ожидает, что 2024 г. станет первым в истории, когда на возобновляемые источники энергии будет приходиться более трети мирового производства электроэнергии. В 2022 г. доля ВИЭ составила 29 % [16].

Инвестиции в расширение производства важнейших полезных ископаемых превысили 40 млрд долл. в 2022 г., что на 30 % превышает

значение 2021 г., в котором рост также был впечатляющим – на уровне 20 %. По оценке агентства, рынок полезных ископаемых, необходимых для «новой энергетики», в денежном выражении удвоился за пять лет и достиг размера в 320 млрд долл. в 2022 г. [15].

В период 2017–2022 гг. отмечался беспрецедентный рост потребления ряда полезных ископаемых. Спрос на литий вырос в три раза, на кобальт – на 70 %, на никель – на 40 %. Рост потребления был обусловлен климатическими целями, поставленными правительствами и бизнесом, и привел к резкому увеличению инвестиций в добычу и переработку.

Высокие цены на ископаемое топливо и проблемы, связанные с энергетической безопасностью, отмечает МЭА, также стимулируют активное развитие солнечной и ветровой генерации. В результате прирост новых мощностей в текущем году превысит 440 ГВт, что является самым большим увеличением за всю историю. В 2022 г., по оценке агентства, мировой прирост новых мощностей на базе ВИЭ составил 340 ГВт [17].

Организация Carbon Tracker в своем исследовании [14] показывает, что свыше 60 % угольных электростанций, действующих сегодня в мире, вырабатывают электроэнергию с более высокой стоимостью, чем она могла бы быть произведена новыми электростанциями, работающими на основе возобновляемых источников энергии. Не позднее 2030 г. практически везде в мире будет дешевле построить новые ветровые или солнечные электростанции, чем продолжать эксплуатировать угольные.

Консалтинговая компания McKinsey [19] оценивает эти тенденции с другой стороны. По ее мнению, быстрая трансформация энергетического сектора и декарбонизация могут привести к нехватке значительной части минералов и металлов (рис. 2).

Например, дефицит редкоземельного металла диспрозия, который используется для производства синхронных генераторов с постоянными магнитами, может составить 70 %. Компания утверждает, что если не будут приняты меры по расширению добычи и переработки дефицитных минералов и металлов, возможна неустойчивость цен и нестабильность в цепочке поставок. В свою очередь, это приведет к замедлению темпов внедрения низкоуглеродных технологий, поскольку экономические агенты не смогут перейти на альтернативы с более низким уровнем выбросов. Итогом может стать замедление глобальной декарбонизации.

В сценарии, который соответствует целям Парижского соглашения (сценарий устойчивого развития МЭА), доля «зеленых» минералов и металлов в общем спросе значительно возрастет в течение следующих двух десятилетий до более 40 % для меди и РЗМ, 60–70 % для никеля и

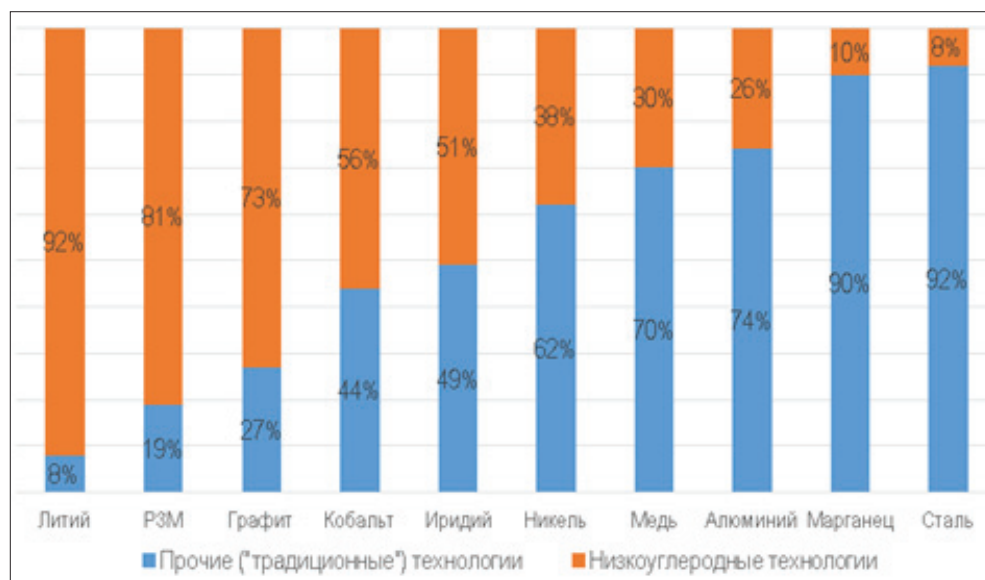


Рис. 2. Спрос на минералы и металлы для «традиционных» и низкоуглеродных технологий – прогноз на 2030 г.

Pic. 2. Demand for minerals and metals for «traditional» and low-carbon technologies – forecast for 2030

Источник: McKinsey Global Materials Insights, McKinsey MineSpans

кобальта и почти 90 % для лития. Электромобили и аккумуляторы уже обошли бытовую электронику, являясь крупнейшими потребителями лития, и к 2040 г. они опередят нержавеющую сталь в качестве крупнейшего конечного потребителя никеля [20].

Энергетическая система, основанная на чистых энергетических технологиях, коренным образом отличается от системы, работающей на традиционных углеводородных ресурсах. Солнечные фотоэлектрические электростанции, ветровые электростанции и электромобили требуют больше полезных ископаемых для создания, чем их аналоги, работающие на ископаемом топливе. Типичный электромобиль требует в шесть раз больше минералов, чем обычный автомобиль (кг на единицу), а наземная ветряная установка требует в девять раз больше минералов, чем газовая электростанция (кг на мегаватт).

McKinsey также отмечает, что сохраняется высокая концентрация запасов полезных ископаемых и металлов в нескольких странах, включая Китай (РЗМ), Демократическую Республику Конго (кобальт) и Индонезию (никель). Аналитики предупреждают, что растущая

«регионализация» (термин, используемый как антоним глобализации) может в конечном итоге помешать переходу на низкоуглеродную траекторию развития [19].

Компания Ernst&Young (EY) в исследовании «Трансформация международных энергетических рынков» [6] подчеркивает, что стремление ведущих стран мира к переходу от углеродной энергетики к возобновляемой может привести к новой сырьевой зависимости от цветных металлов, металлов платиновой группы и РЗМ. Низкоуглеродные технологии потребуют больше меди, кобальта, никеля, лития, хрома, цинка, алюминия, платиноидов и РЗМ. В солнечной энергетике высока зависимость от меди, алюминия и хрома, в ветроэнергетике – от меди, цинка и РЗМ, в геотермальной энергетике – от никеля и хрома. Для производства электромобилей и аккумуляторов востребованы медь, кобальт, никель, литий, РЗМ и алюминий, в водородной энергетике требуются никель и платиноиды.

Энергопереход становится все более дорогостоящим, и сопутствующие металлы также дорожают, отмечает EY. Зависимость стран-импортеров будет смещаться от углеводородов к металлам. Компания подчеркивает, что в стремлении уйти от ископаемых энергоносителей мировое сообщество вовлекается в новую зависимость от других видов сырья. По оценке EY, шанс получают обладатели горнорудных активов в АТР, Латинской Америке и Африке.

Решением перечисленных проблем может стать диверсификация источников поставок и снижение спроса на важнейшие полезные ископаемые. Это может происходить за счет снижения материалоемкости технологий новой энергетики или за счет новых масштабных программ переработки. Например, сокращение использования серебра и кремния в солнечных элементах на 40–50 % за последнее десятилетие привело к впечатляющему росту солнечной энергетики [20]. МЭА подчеркивает, что 90 % прироста инвестиций в чистые технологии приходится на страны с развитой экономикой и Китай, что представляет серьезный риск возникновения новых разделительных линий в мировой энергетике, если переход на чистую энергию не начнется в других регионах [18].

В России отсутствует спрос на стратегическое сырье для «зеленой экономики», поскольку нет «высокотехнологичного» конечного спроса

По данным Минприроды РФ [1], Россия располагает 7 % мировых запасов никеля, 8 % меди, 3,5 % кобальта, 4 % хрома, 10 % цинка, 4 % бокситов (алюминиевая руда), 32 % платины и палладия, 15,6 % РЗМ. Доля нашей страны в мировом производстве никеля, по данным

за 2020 г., составляла 9,6 %, меди – 5 %, кобальта – 7 %, хрома – 1,9 %, цинка – 2 %, алюминия – 6 %, платины и палладия – 28 %, РЗМ – 1,1 %.

При этом в России существует ярко выраженный дисбаланс между добычей стратегического сырья и производством высокотехнологичной продукции на его основе. Это выражается во фрагментированном характере цепочек добавленной стоимости. Наиболее показателен в этом отношении пример РЗМ. Эти металлы применяются в атомной энергетике, оптике, медицине, микроэлектронике, химической промышленности, производстве мобильных телефонов, дисплеев, телекоммуникационного оборудования, реактивных двигателей и спутниковых систем.

Производители РЗМ в России почти всю продукцию (прежде всего в форме концентратов) направляют на экспорт, а «чистые» металлы и их соединения импортируют для производства катализаторов, магнитов, электроники, оптики, керамики и другой продукции с высокой добавленной стоимостью. В стране практически нет собственных высокотехнологичных производств, которые бы предъявляли спрос на более глубокую переработку концентрата. Таким образом, недостаток внутреннего потребления не стимулирует формирование всей последовательности цепочки добавленной стоимости «от сырья до высокотехнологичного изделия» внутри страны. События 2022 г. еще более усложнили эту проблему: перед Россией встал вопрос технологического суверенитета в сфере производства стратегического минерального сырья.

Причины сложившейся ситуации следует искать в подходах и решениях, принятых в России за последние 20 лет в области локализации технологий и производства высокотехнологичного оборудования. В мире есть два основных пути, по которым проходят страны при создании собственных высокотехнологичных отраслей – «западный» подход и «китайский» подход.

«Западный» подход предполагает локализацию производства оборудования на территории страны иностранной компанией без передачи всего сопутствующего пакета технологий и прав. Такой подход позволяет создать технологические компетенции, рабочие места, сформировать производственные цепочки и т. п., но технологический суверенитет в полной мере не обеспечивает. «Китайский» подход основан на локализации производства иностранного оборудования на территории страны с передачей прав, технологий, лицензий, с копированием продуктов и, как вариант, последующим вытеснением иностранных компаний с местного рынка.

В России со всей очевидностью был принят «западный» подход. В этом смысле он больше напоминает «псевдолокализацию», которая не обеспечивала технологический суверенитет в полной мере, но была

относительно устойчива. События 2022 г., последующие санкционные ограничения и разрыв связей выявили несовершенство принятого подхода. Если рассмотреть, например, отрасль ветроэнергетики, то у России оставались заделы в этой области. Еще с советского периода были разработки ветрогенераторов, сформированы некоторые научно-технологические компетенции. Однако в последние десятилетия российские регуляторы, госкорпорации и частный бизнес не стали реанимировать эти разработки, развивать и выращивать «национальных технологических чемпионов». Был выбран более простой путь – пригласить иностранные компании со сборочным производством, создать им все необходимые условия в виде повышенных тарифов и специальных инвестиционных контрактов.

Все приведенные тенденции показательны на примере развития ветроэнергетики в России как конечного потребителя стратегического минерального сырья (в т. ч. РЗМ). С 2017 г. в стране было введено в эксплуатацию около 2,1 ГВт ветрогенерирующих мощностей. Выработка электроэнергии на ветроэлектростанциях (ВЭС) за тот же период выросла с нулевых значений до 5,5 млрд кВт·ч. При этом в масштабах страны и всей ее энергетики объемы ветроэнергетики остаются незначительными. Минэнерго России оценивает долю всех ВИЭ в 1,8 % установленных мощностей (по состоянию на 2022 г.), а в структуре выработки электроэнергии вообще всего в 0,6 %. Британский Energy Institute оценивает вклад ВИЭ в России всего в 0,5 % совокупной генерации по итогам 2022 г., но темпы роста ветрогенерации, особенно в ряде южных регионов страны с хорошим ветропотенциалом (Адыгея, Ростовская область, Ставропольский край), до 2022 г. были значительными.

Однако события 2022 г. существенно осложнили дальнейшее развитие ВЭС в России. Два из трех крупнейших отраслевых игроков – итальянская Enel и финская Fortum – объявили о приостановке инвестиций в отрасль. В совокупности это составляет 63 % всех мощностей ветрогенерации, введенных в России к 2022 г. [4]. В настоящее время на российском рынке над новыми проектами работает только «НоваВинд», дочерняя компания «Росатома». Усугубляет ситуацию тот факт, что об уходе с российского рынка объявила также датская Vestas – крупнейший в мире поставщик ветроустановок и один из крупнейших производителей ветрогенераторов, имевший производства в Ульяновской и Нижегородской областях. Это составляет почти половину ныне существующих в России мощностей ВЭС. Таким образом, перед ветряной энергетикой РФ со всей актуальностью встал вопрос масштабного и быстрого импортозамещения.

Основой этих шагов должно стать как формирование полных цепочек производства всех необходимых компонентов внутри страны, так и выход российского сырья для «зеленой» энергетики на внешние рынки. Основную долю поставок металлов обеспечат Латинская Америка, Африка и Юго-Восточная Азия, но новые проекты есть и в России. Санкции ограничивают для России доступ к части технологий по добыче лития и РЗМ, и здесь России в первую очередь необходимо решить задачу удовлетворения собственных потребностей. Можно сказать, что зависимость стран от импорта угля и углеводородов трансформируется в зависимость от установок ВИЭ, и Россия должна воспользоваться этой возможностью, используя собственный минерально-сырьевой потенциал и технологические компетенции. На текущий момент становится очевидна будущая зависимость эксплуатантов установок ВИЭ от производителей в странах Азии (прежде всего, от Китая).

Китай – не только лидер, но и основной бенефициар мирового энергетического перехода

Китай демонстрирует высокую эффективность в локализации высокотехнологичных производств и консолидации цепочек добавленной стоимости внутри страны. Движущей силой впечатляющего прогресса экономики Китая является высокий уровень поддержки сферы науки, технологий, инноваций. Ее значимость для страны подтверждается ростом объемов затрат на исследования и разработки в 2013–2022 гг. с 1,18 до 3,09 трлн юаней (13,1 и 34,4 трлн руб. соответственно), их доли в ВВП (с 1,99 до 2,55 %), а также масштабов транзакций на рынке технологий (более чем в шесть раз – с 0.7 до 4.8 трлн юаней – 8,3 и 53,2 трлн руб.). По этим и некоторым другим показателям Китай уже догнал или догоняет США, что отражает укрепление его лидерских позиций в глобальной технологической гонке [2].

По данным компании BloombergNEF, в последний год Китай вышел в мировые лидеры по производству ветровых турбин (рис. 3). Ранее лидирующие места занимали западные производители, и если в 2021 г. первую строчку заняла датская Vestas, то в 2022 г. впервые в истории отрасли лидирующее место занял китайский производитель – компания Goldwind. Компания Vestas опустилась на второе место, но пока сохраняет лидирующую позицию в оффшорном сегменте [13].

Китайские производители ветряных турбин Envision, Mingyang и Goldwind впервые стали лидерами по объемам заказов в 2022 г. Более 17 ГВт получила каждая из компаний. Таким образом, китайские производители, очевидно, претендуют на первенство в отрасли и в 2023 г.



Рис. 3. Основные производители ветровых турбин в мире в 2022 г. (ГВт мощности)

Pic. 3. Top wind turbine manufacturers in the world in 2022 (GW)

Источник: Gusick, W. (2023). Goldwind and Vestas in Photo Finish for Top Spot as Global Wind Power Additions Fall. BloombergNEF. [online] Available from: <https://about.bnef.com/blog/goldwind-and-vestas-in-photo-finish-for-top-spot-as-global-wind-power-additions-fall/> [13].

Благодаря деятельности Китая в области «зеленых» технологий происходит «ценностный сдвиг»: согласно данным BloombergNEF, приведенная стоимость электроэнергии морских ветровых электростанций, которые еще недавно относились к «дорогим» технологиям, в 2022 г. впервые сравнялась со стоимостью электроэнергии, вырабатываемой угольными электростанциями.

Таким образом, по высокотехнологичным «зеленым» технологиям Китай также начал опережать и Европу. Например, будучи родиной ветроэнергетики, Европа имеет хорошо развитую цепочку поставок, охватывающую практически все – от производства гондол ветряных турбин до ключевых компонентов и сырья. Однако с момента создания в 2008–2010 гг. местной ветровой индустрии Китай стал не только ведущей в мире производственной базой по производству ветряных турбин, но и крупнейшим центром производства ключевых компонентов и сырья [12].

Как было отмечено выше, показательным примером здесь являются РЗМ, применяемые в постоянных магнитах для электромобилей и ветряных турбин. В 2022–2023 гг. Китай оставался крупнейшим в мире

производителем РЗМ, на долю которого приходилось 70 % производства и 90 % переработки.

В 2021 г. в Китае были объединены три государственных предприятия, в результате чего была создана China Rare Earth Group, на долю которой приходится более 60 % поставок РЗМ «тяжелой» группы в стране. Консолидация направлена на повышение эффективности производства и экологических показателей китайской отрасли РЗМ, но также может повысить Китай диктовать цены в отношении ключевых РЗМ на мировом рынке. Также правительство Китая увеличило квоту на добычу РЗМ на 2023 г. на 20 %, что еще больше увеличило производство (в основном металлов «легкой» группы).

В странах-потребителях РЗМ, не располагающих такими сырьевыми возможностями, как Китай, растет понимание уязвимости от политики Китая в вопросах поставки стратегически важных РЗМ. В этой связи активно реализуется несколько проектов по переработке, в том числе в США (MP Materials) и Канаде (SRC), а в 2022 г. правительства США, Австралии и Канады способствовали созданию новых предприятий по добыче и переработке. В 2023 г. правительство Японии предоставило компании Lynas дополнительное финансирование для строительства завода по выделению и производству «тяжелых» РЗМ с целью диверсификации источников поставок [15].

Опасения стран-потребителей стратегического сырья в отношении монополии Китая неслучайны. Эта страна намерена активно пользоваться своим монопольным положением. Например, в 2023 г. Китай в ответ на введенные США ограничения на продажу полупроводниковых технологий ограничил экспорт галлия и германия, металлов, используемых в основном в производстве микросхем и связи, но также имеющих отношение к энергетическому и автомобильному секторам [19].

Китай является также и активным эксплуатантом установок ВИЭ. По данным Национального управления энергетики Китая, по итогам первого полугодия 2023 г. установленная мощность возобновляемых источников энергии в стране превысила 1,3 млрд квт, достигнув 1,32 млрд квт, увеличившись по сравнению с аналогичным периодом прошлого года на 18,2 %¹. В целом потребление электроэнергии в Китае вырастет на 5,3 % в 2023 г. и на 5,1 % в 2024 г., что несколько ниже среднего показателя 2015–2019 гг. (5,4 %) [16].

В 2022 г. Китай добавил более 125 ГВт солнечных и ветровых электростанций, а их общая установленная мощность достигла 758 ГВт.

¹ По данным Национального управления энергетики Китая (NEA).

Это примерно 29,5 % установленной мощности китайской энергосистемы. Таким образом, доля ВИЭ в выработке электроэнергии в Китае приближается к трети (рис. 4).

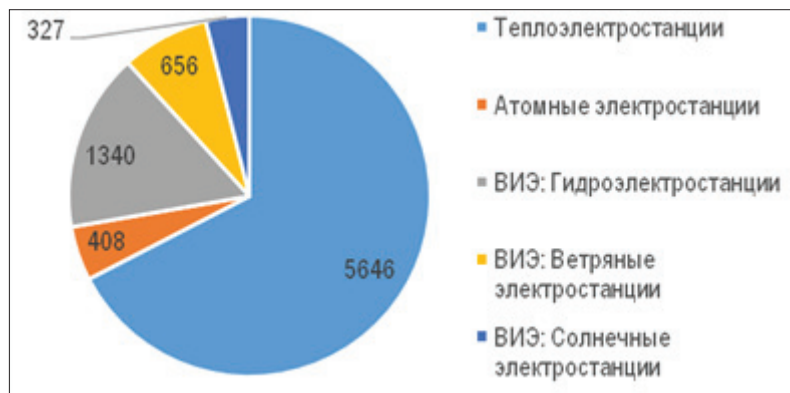


Рис. 4. Выработка электроэнергии в Китае в 2021 г. (ТВт/ч)

Pic. 4. China Electricity Generation 2021 (TWh)

Источник: chinaenergyportal.org

При этом, например, установленная мощность электроэнергетики России составляет примерно 250 ГВт [8]. В 2023 г. только солнечные и ветровые электростанции Китая произведут больше электроэнергии, чем вся энергосистема России. В 2022 г. на Китай приходилось 40,7 % мировых установленных мощностей ветровых электростанций, в то время как в Европе было сосредоточено 26,5 %, в США – 15,7 %, в России – 0,2 %. По общей выработке электроэнергии станциями всех типов в 2022 г. на Китай приходилось 30,3 %, на Европу – 11,9 %, на США – 15,6 %, на Россию – 4 %) [4].

Новый подход к анализу цепочек на основе проектов полного цикла – возможность для России по укреплению позиций на рынках стратегического сырья

Как отмечено выше, РЗМ являются одним из основных видов стратегического сырья и в обозримом будущем практически полностью будут направлены на развитие ВИЭ. Россия располагает значительным ресурсным потенциалом РЗМ и возможностями встраивания как в глобальные цепочки поставок РЗМ, так и выхода на мировые рынки высокотехнологичной продукции, содержащей РЗМ. Вопрос только в выборе инструментов и подходов, а также в формировании «дорожной карты» для такого перехода. По мнению автора, таким подходом должно быть рассмотрение стратегического сырья для «зеленой» экономики

в контексте цепочек полного цикла. Подход позволяет выстраивать цепочки добавленной стоимости (ЦДС) в увязке с созданием условий для развития спроса на высокотехнологичную продукцию.

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

Традиционный проект «замкнутого» цикла 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 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 (рис. 5).

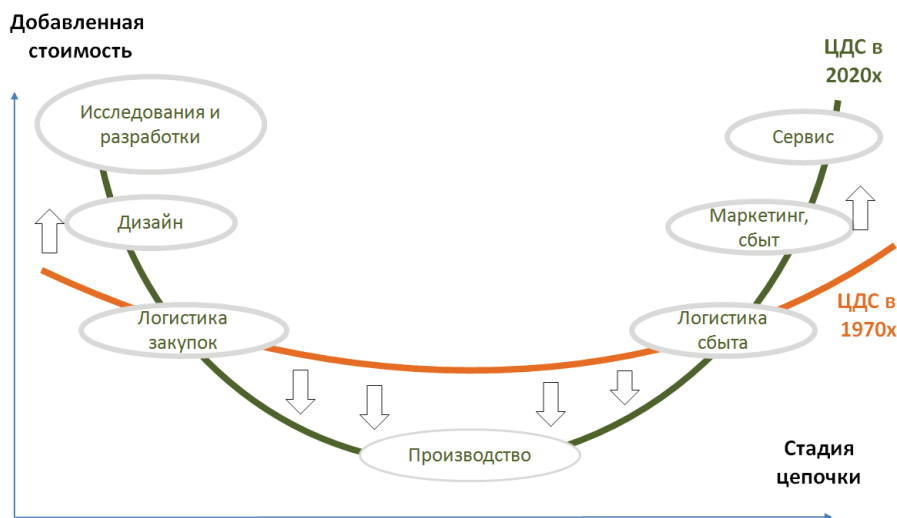


Рис. 5. Приращение добавленной стоимости при производстве условного изделия на различных стадиях цепочки: сравнение 1970-х и 2020-х гг.

Pic. 5. Increment of value added in the production of a conditional product at various stages of the chain: a comparison of the 1970s and 2020s

Источник: Callaghan, C. C. (2013). Mineral Resource Based Growth Pole Industrialization Growth Poles and Value Chains. Trademark Southern Africa. [online] Available from: https://www.academia.edu/10227072/Mineral_Resource_Based_Growth_Pole_Industrialisation_Growth_Poles_and_Value_Chains [11].

В этом контексте можно говорить не просто о проекте замкнутого цикла, а о расширении рамок проекта – рассмотрении проекта полного проектного 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 удлинение 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: управлению мультипликативными эффектами, эффектом «обучения» и управлением рудами в отвалах как псевдофинансовыми активами.

Мультипликативные эффекты. Предлагаемый подход рассмотрения РЗМ-отрасли с точки зрения совокупности проектов полного цикла позволяет соединить чисто проектное понимание 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, создании и развитии 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 [3].

В российском минерально-сырьевом секторе преобладают прямые локальные эффекты, тогда как в западных странах – косвенные. Это различие говорит о том, что в западных странах несырьевой сектор активно вовлечен в реализацию минерально-сырьевых проектов через систему межотраслевых связей, а в России такой взаимосвязи нет по причине коротких цепочек и локализации 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 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 востребованные 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 потребителя 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 [5].

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 ранних 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.

Российский Север и Арктика – нет недостатка в перспективных проектах разработки сырья для «зеленого» перехода

Приведенный подход (как в части наукоемкости конечного продукта, так и с точки зрения консолидации цепочек) применим и в условиях Российской Арктики, в частности, к проектам по добыче и переработке стратегического сырья – РЗМ и лития. Например, высокий инновационный потенциал именно с точки зрения приращения добавленной стоимости на начальном и конечном этапе цепочек имеет проект освоения Томторского ниобий-редкоземельного месторождения в Республике Саха (Якутия). Реализация проекта Томтор в рамках предложенного выше подхода может внести существенный вклад в формирование экономики предложения и сыграть значительную роль в развитии ВИЭ в России.

Томторский проект является высокотехнологичным в том смысле, что продукты конечных переделов обладают значительным инновационным потенциалом, могут использоваться в новых материалах и изделиях с высокими эксплуатационными свойствами в т. ч. и в наукоемких отраслях экономики. В рамках реализации проекта остро стоят вопросы, связанные с формированием спроса на высокотехнологичные продукты Томторского проекта и тех экономических и институциональных условиях, которые не только обеспечат добычу сырья (предложение), но также позволят создать необходимый спрос на эту продукцию в российской экономике. Только меры чисто государственного участия не смогут в должной мере задать устойчивый вектор развития производства и использования высокотехнологичного сырья этого арктического проекта. Переработка томторской руды до стадии оксидов будет производиться на Краснокаменском ГМК (Забайкальский край), инвестиции в развитие производства составляют 100 млрд руб.

Крайне важным в России является возобновление добычи и формирование собственных цепочек для другого «зеленого» металла – лития. Объем геологических запасов литиевых соединений в России составляет 27,5 млн т LCE (lithium carbonate equivalent – эквивалент карбоната лития), что соответствует 6 % мировых запасов. Однако в стране литий последний раз добывался в 1997 г., импорт обходился в 2 раза дешевле, чем себестоимость добычи внутри страны. Весь импортируемый объем перерабатывается на трех отечественных предприятиях: Химико-металлургический завод в Красноярске, «ТД «Халмек» в Тульской области и Новосибирский завод химконцентратов. При этом 86 % готовой

продукции этих предприятий поставляется обратно за рубеж, благодаря чему Россия входит в тройку крупнейших экспортеров гидроксида лития, покрывая 10 % мировых поставок. Потребность России в литиевых соединениях составляет чуть менее 11 тыс. т LCE (данные 2021 г.). С 2022 г. Чили и Аргентина прекратили поставки лития в РФ, что составило 9 тыс. т LCE в год. Остался импорт из Боливии в незначительных объемах. В этой связи стимулирование добычи лития для поддержания стратегической перерабатывающей отрасли – вопрос первостепенной важности, и применение подхода, основанного на проектах полного цикла, к литиевым проектам оправдано.

Возрождение промышленного производства лития не только позволит пополнить его запасы за счет собственной минерально-сырьевой базы, но и обеспечить российские предприятия собственным сырьем, «замкнув» тем самым цепочки полного цикла «от добычи сырья до производства аккумуляторных батарей».

Так, «Полярный литий», совместное предприятие «Норникеля» и горнорудного дивизиона «Росатома», с 2026 г. будет разрабатывать крупнейшее месторождение лития в России – Колмозерское. На месторождении планируют ежегодно перерабатывать 1,96 млн т руды и выпускать 45 тыс. т карбоната и гидроксида лития [7].

Заключение

Возобновляемые источники энергии выходят на первый план в мире, а в обозримом будущем «зеленые» технологии по объемам выработки опередят ископаемое топливо. Переход на ВИЭ предъявляет повышенный спрос на материалы и изделия, требуемые для расширения их производства, и в особенности на стратегические минерально-сырьевые ресурсы (прежде всего – на литий и РЗМ). Лидером по развитию ВИЭ является Китай. Эта страна не только обладает всеми технологическими компетенциями, но и делает ставку на использование собственных стратегических минерально-сырьевых ресурсов.

Основная проблема российских проектов в сфере производства стратегического сырья связана с тем, что в стране отсутствуют взаимосвязанные и взаимодополняющие цепочки добавленной стоимости, которые бы выходили на конечные изделия, связанные с формированием рынка для внутреннего потребления. Ключом к решению этой проблемы является формирование нишевых рынков, цепочек взаимодействия и процедур, которые были бы ориентированы на учет взаимных интересов участников высокотехнологичной цепочки (не только производителей, но и конечных потребителей высокотехнологичных изделий). Примером такого перспективного нишевого рынка является «зеленая» энергетика.

России следует ориентироваться на политику Китая в вопросах создания высокотехнологичных цепочек. 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 руд, но и чистых металлов, а также комплектующих и изделий. Однако это требует иной управленческой парадигмы.

По нашему мнению, в России такой парадигмой может быть развитие высокотехнологичных отраслей (производителей установок и комплектующих для ВИЭ) 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.

Российский Север и Арктика имеют большой потенциал с точки зрения реализации проектов полного цикла в рамках добычи и переработки стратегического минерального сырья, а также производства конечных изделий. Интерес представляют проекты разработки Томторского ниобий-редкоземельного месторождения и Колмозерского литиевого месторождения. Создание цепочек полного цикла на базе сырья этих месторождений позволит не только обеспечить технологический суверенитет страны, но и способствовать выходу России на быстрорастущие мировые рынки стратегического сырья для «зеленого» перехода.

Литература

1. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году» // Министерство природных ресурсов и экологии РФ : [сайт], 22 декабря 2021. – URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_2020/ (дата обращения: 19.05.2023).
2. Иванова, И. А. Китай расставляет акценты в научно-технической политике / И. А. Иванова, Т. Е. Кузнецова, М. А. Гершман // Институт статистических исследований и экономики знаний (ИСИЭЗ НИУ ВШЭ), 23.03.2023. – URL: <https://issek.hse.ru/news/822382493.html> (дата обращения: 10.05.2023).
3. Крюков, В. А. Как раздвинуть рамки арктических проектов / В. А. Крюков, Я. В. Крюков // ЭКО. – 2017. – № 8. – С. 5–30.

4. Кудияров, С. Деньги на ветер / С. Кудияров// Эксперт. – 2023. – № 27. – С. 22–26.
5. Лакстыгал, И. Китай планирует пакет помощи полупроводниковой промышленности на \$143 млрд / И. Лакстыгал, В. Кулагин, А. Курашева // Ведомости : [сайт], 14.12.2022. – URL: <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2022/12/14/955135-kitai-planiruet-paket-pomoschi-poluprovodnikovo-i-promishlennosti> (дата обращения: 20.12.2022).
6. Милькин, В. При энергопереходе возникнет новая сырьевая зависимость от цветных металлов / В. Милькин // Ведомости : [сайт], 5.05.2022. – URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2022/05/05/921112-energoperehode-sirevaya-zavisimost> (дата обращения: 05.07.2023).
7. «Полярный литий» будет разрабатывать крупнейшее месторождение лития в России // Страна Росатом : [сайт], 9.02.2023. – URL: <https://strana-rosatom.ru/2023/02/08/polyarnyj-litij-budet-razrabatyvat/> (дата обращения: 21.05.2023).
8. Статистика национальной энергетики за 2022 г. // Национальное управление энергетики Китая (NEA) : [сайт]. – URL: http://www.nea.gov.cn/2023-01/18/c_1310691509.htm (дата обращения: 19.05.2023).
9. Стенограмма пленарного заседания Петербургского международного экономического форума // Официальный сайт Президента России : [сайт], 16.06.2023. – URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/71445> (дата обращения: 01.07.2023).
10. bp.com, (2023). *BP Energy Outlook 2023 edition*. [online] Available from: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2023.pdf>.
11. Callaghan, C. C. (2013). Mineral Resource Based Growth Pole Industrialization Growth Poles and Value Chains. *Trademark Southern Africa*. [online] Available from: https://www.academia.edu/10227072/Mineral_Resource_Based_Growth_Pole_Industrialisation_Growth_Poles_and_Value_Chains
12. gwec.net, (2023). Global wind report 2023. *Global wind energy council*. [online] Available from: <https://gwec.net/globalwindreport2023/#download>
13. Gusick, W. (2023). *Goldwind and Vestas in Photo Finish for Top Spot as Global Wind Power Additions Fall*. BloombergNEF. [online] Available from: <https://about.bnef.com/blog/goldwind-and-vestas-in-photo-finish-for-top-spot-as-global-wind-power-additions-fall/>
14. carbontracker.org, (2020). How to waste over half a trillion dollars: The economic implications of deflationary renewable energy for coal power investments. *Carbon tracker*. [online] Available from: <https://carbontracker.org/reports/how-to-waste-over-half-a-trillion-dollars/>

15. IEA Critical Minerals Market Review 2023, (2023). [online] Available from: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/afc35261-41b2-47d4-86d6-d5d77fc259be/CriticalMineralsMarketReview2023.pdf>.
16. IEA Electricity Market Report 2023, (2023). [online] Available from: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/255e9cba-da84-4681-8c1f-458ca1a3d9ca/ElectricityMarketReport2023.pdf>.
17. IEA Renewable Energy Market Update, June 2023, (2023). [online] Available from: https://iea.blob.core.windows.net/assets/63c14514-6833-4cd8-ac53-f9918c2e4cd9/RenewableEnergyMarketUpdate_June2023.pdf.
18. IEA World Energy Investment 2023, (2023). [online] Available from: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/8834d3af-af60-4df0-9643-72e2684f7221/WorldEnergyInvestment2023.pdf>.
19. McKinsey, (2023). *The net-zero materials transition: Implications for global supply chains*. [online] Available from: <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/the-net-zero-materials-transition-implications-for-global-supply-chains>.
20. The Role of Critical World Energy Outlook Special Report Minerals in Clean Energy Transitions, (2021). *IEA Report*. [online] Available from: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf>.

References

1. mnr.gov.ru, (2021). *State report «On the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2020»*. [online] Available from: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/_gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_2020/ (accessed: 19.05.2023). (In Russ.)
2. Ivanova, I. A., Kuznetsova, T. E. and Gershman, M. A. (2023). China places emphasis in science and technology policy. *Institute for Statistical Research and Economics of Knowledge (ISSEK NRU HSE)*. [online] Available from: <https://issek.hse.ru/news/822382493.html> (accessed: 10.05.2023). (In Russ.)
3. Kryukov, V. A., Kryukov, Ya. V. (2017). How to expand the scope of Arctic projects. *EKO*, No. 8, pp. 5–30. (In Russ.)
4. Kudiyarov, S. (2023). Money down the drain. *Expert*, No. 27, pp. 22–26. (In Russ.)
5. Lakstygai, I., Kulagin, V. and Kurasheva, A. (2022). China plans a package of assistance to the semiconductor industry for \$143 billion.

- Vedomosti*. [online] Available from: <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2022/12/14/955135-kitai-planiruet-paket-pomoschi-poluprovodnikovoi-promishlennosti> (accessed: 20.12.2022). (In Russ.)
6. Milkin, V. (2022). During the energy transition, a new raw material dependence on non-ferrous metals will arise. *Vedomosti*. [online] Available from: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2022/05/05/921112-energoperehode-sirevaya-zavisimost> (accessed: 05.07.2023). (In Russ.)
7. Polar Lithium will develop the largest lithium deposit in Russia (2023). *Rosatom Country*. [online] Available from: <https://strana-rosatom.ru/2023/02/08/polyarnyj-litij-budet-razrabatyvat/> (accessed: 21.05.2023). (In Russ.)
8. National Energy Statistics for 2022. (2023). *National Energy Administration of China (NEA)*. [online] Available from: http://www.nea.gov.cn/2023-01/18/c_1310691509.htm (accessed: 19.05.2023). (In Russ.)
9. Official website of the President of Russia (2023). Transcript of the plenary session of the St. Petersburg International Economic Forum. [online] Available from: <http://kremlin.ru/events/president/news/71445> (accessed: 01.07.2023). (In Russ.)
10. bp.com, (2023). *BP Energy Outlook 2023 edition*. [online] Available from: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2023.pdf>.
11. Callaghan, C. C. (2013). Mineral Resource Based Growth Pole Industrialization Growth Poles and Value Chains. *Trademark Southern Africa*. [online] Available from: https://www.academia.edu/10227072/Mineral_Resource_Based_Growth_Pole_Industrialisation_Growth_Poles_and_Value_Chains.
12. gwec.net, (2023). Global wind report 2023. *Global wind energy council*. [online] Available from: <https://gwec.net/globalwindreport2023/#download>.
13. Gusick, W. (2023). *Goldwind and Vestas in Photo Finish for Top Spot as Global Wind Power Additions Fall*. BloombergNEF. [online] Available from: <https://about.bnef.com/blog/goldwind-and-vestas-in-photo-finish-for-top-spot-as-global-wind-power-additions-fall/>.
14. carbontracker.org, (2020). How to waste over half a trillion dollars: The economic implications of deflationary renewable energy for coal power investments. *Carbon tracker*. [online] Available from: <https://carbontracker.org/reports/how-to-waste-over-half-a-trillion-dollars/>.
15. IEA Critical Minerals Market Review 2023, (2023). [online] Available from: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/afc35261-41b2-47d4-86d6-d5d77fc259be/CriticalMineralsMarketReview2023.pdf>.

16. IEA Electricity Market Report 2023, (2023). [online] Available from: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/255e9cba-da84-4681-8c1f-458ca1a3d9ca/ElectricityMarketReport2023.pdf>.
17. IEA Renewable Energy Market Update, June 2023, (2023). [online] Available from: https://iea.blob.core.windows.net/assets/63c14514-6833-4cd8-ac53-f9918c2e4cd9/RenewableEnergyMarketUpdate_June2023.pdf.
18. IEA World Energy Investment 2023, (2023). [online] Available from: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/8834d3af-af60-4df0-9643-72e2684f7221/WorldEnergyInvestment2023.pdf>.
19. McKinsey, (2023). *The net-zero materials transition: Implications for global supply chains*. [online] Available from: <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/the-net-zero-materials-transition-implications-for-global-supply-chains>.
20. The Role of Critical World Energy Outlook Special Report Minerals in Clean Energy Transitions, (2021). *IEA Report*. [online] Available from: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf>.

Сведения об авторе

КРЮКОВ Яков Валерьевич – к. э. н., с. н. с. Центра ресурсной экономики Института экономики и организации промышленного производства СО РАН, в. н. с. Лаборатории проблем управления региональной экономикой Научно-исследовательского института региональной экономики Севера Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. E-mail: kryukovyv@ieie.nsc.ru.

KRYUKOV, Yakov Valeryevich – PhD in Economics, Senior Researcher in Resource Economy Center of the Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS, Leading Researcher in Laboratory for Problems of Regional Economy Management of the Research Institute of Regional Economy of the North, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University.