

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КРИТИЧНЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ И ЛИТИЯ В ПЕРИОД ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

В. Е. Шунков, П. И. Севостьянов

Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова,
Москва, Россия

Энергетический переход от энергетики ископаемого топлива к низкоуглеродной энергетике требует большого количества полезных ископаемых. Рост глобального спроса на редкоземельные металлы оказывает значительное давление на сложившееся предложение. Среди необходимых минералов редкоземельные элементы (РЗЭ) являются ключевыми компонентами экологически чистых энергетических технологий, таких как ветряные турбины и электромобили. Несмотря на важность редкоземельных металлов, прогнозирование их будущего использования остается сложной задачей. В статье основное внимание уделено прогнозу применения лития в электромобилях и ветряных электростанциях, а также неодима. Исследованы проблемы, связанные с текущими и будущими поставками РЗЭ для низкоуглеродных технологий: монополия Китая, отсутствие эквивалентных заменителей, низкие темпы переработки и др. Авторами проведен анализ долгосрочных тенденций потребления объемов редкоземельных металлов и лития на основе простых моделей данных и более сложных – полиномиальных. В целом модели могут лишь в ограниченной степени прогнозировать последствия, поскольку в большинстве случаев они представляют собой структуру, в которую объединено большое количество исходных предположений. Мы предлагаем новый подход к оценке будущего использования ключевых ресурсов для энергетического перехода, который даст ответ на вопрос, как удовлетворить текущий и будущий спрос на энергию, и поможет ученым и принимающим решения в разработке устойчивых энергетических стратегий в контексте климатических вызовов и сопоставлении немоделированных сценариев, основываясь на экспертном анализе.

Ключевые слова: ископаемое топливо, низкоуглеродная энергетика, полезные ископаемые, ветряные турбины, электромобили.

FORECASTING USE OF CRITICAL REAR-EARTH METALS AND LITHIUM DURING ENERGY TRANSFORMATION

Valentin E. Shunkov, Pavel I. Sevostyanov

Plekhanov Russian University of Economics,
Moscow, Russia

Energy transition from power-engineering of fossil fuel to low-carbon power-engineering requires great amounts of minerals. The growth in global demand for rear-earth metals brings serious pressure on today's supply. Among necessary minerals rear-earth elements (REE) are key components of ecologically clean power technologies, such as windmills and electric vehicles. In spite of importance of rear-earth metals forecasting of their future use is still a complicated task. The article paid key attention to forecasts of using lithium in electric vehicles and wind power stations, as well as neodymium. The authors researched problems connected with current and future REE supplies for low-carbon technologies: monopoly of China, the absence of equivalents substitutions, low rate of processing, etc. The authors analyzed long-term trends of consuming rear-earth metals and lithium on the basis of simple models of data and more complicated ones - multinomial. In general, models can forecast consequences only in limited degree, as in many cases they make up a structure, which combines a great number of initial assumptions. We propose a new approach to appraisal future use of key resources for energy transitions, which can answer the

question 'how to satisfy the current and future demand for power' and will help scientists and decision-makers develop sustainable power strategies in view of climatic challenges and compare non-modeled scenarios on the basis of expert analysis.

Keywords: fossil fuel, low-carbon power-engineering, minerals, wind turbines, electric vehicles.

Введение

Глобальная климатическая политика уменьшает выбросы парниковых газов, поэтому перспективно ослабляются позиции рынка углеводородов, в первую очередь нефти. На смену приходит другой продукт, необходимый практически всем высокотехнологичным производствам, – редкоземельные элементы. Они применяются как добавки для изменения свойств металлических сплавов, каталитической очистки в химическом производстве и очистки выбросов двигателей внутреннего сгорания, в нефтяной промышленности, оптике, производстве аккумуляторных батарей и магнитных материалов и др. Количество редкоземельных элементов, применяемых при добыче, переработке и использовании углеводородов, будет снижаться вместе с ужесточением экологических норм, но этот эффект может потеряться из-за их использования в зеленой энергетике. Помимо редкоземельных элементов, инструментом торговых войн может стать литий, являющийся на данный момент одним из основных материалов, используемых при производстве аккумуляторных батарей.

Из исторического опыта мы знаем, что фундаментальные и быстрые технологические изменения возможны и что существует не просто возможность, а вероятность совершенно новых изобретений и значительных социальных изменений в сроки, представляющие интерес для различных заинтересованных сторон, подобно тому, как появление конкурентоспособных по стоимости возобновляемых источников энергии, электрических транспортных средств, а также автономных источников энергии стало неожиданностью для широкой общественности. Поэтому модели представляют собой основу для изучения следующих вопросов: какие из

уже существующих технологий необходимы для декарбонизации и каковы будут затраты и временные периоды для исходных допущений? Но существует большое количество неопределенных факторов, которые имеют большое значение для планирования будущих процессов декарбонизации и могут доминировать над результатами по сравнению с поддающимися количественному измерению факторами [3].

Структура запасов лития

Редкоземельные запасы Китая, Австралии, России и Индии являются главными в мировой структуре запасов [5].

Мировые разведанные месторождения лития оцениваются примерно в 86 млн тонн (рис. 1), самые крупные из которых находятся в южноамериканском треугольнике (Чили, Аргентина и Боливия). Но если до 2018 г. южноамериканские страны добывали больше половины всего лития (сравнительное количество добывала только Австралия, имеющая гораздо меньшие месторождения), что вместе с ростом потребления привело к росту его цены в 10 раз с 2005 г., то после 2018 г. его цена резко упала.

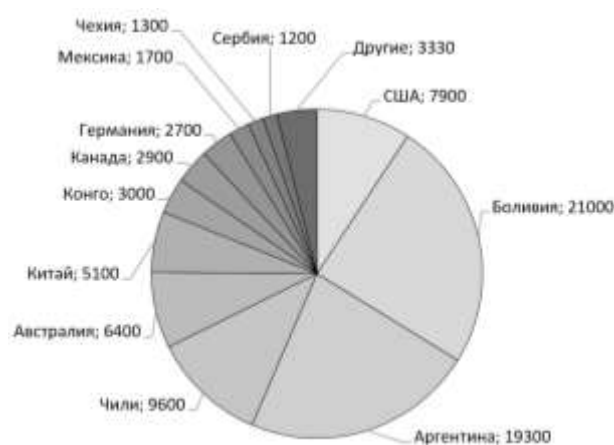


Рис. 1. Разведанные месторождения лития по данным на 2020 г. (в тыс. т)

С 2015 по 2020 г. годовой объем добычи лития вырос с 32,5 тыс. до 82 тыс. тонн (рис. 2 и 3). Это вызвано в первую очередь переходом на аккумуляторы на его основе взамен никель-металлогидридных. Несмотря на растущие объемы потребления лития, цены на литий и продукты на его основе стабилизировались благодаря увеличению конкуренции на рынке добычи. Австралия и Китай нарастили объемы и стали использовать новые виды месторождений [8], например, добычи лития не из солончаковых озер, а богатых литием глинистых почв [2].

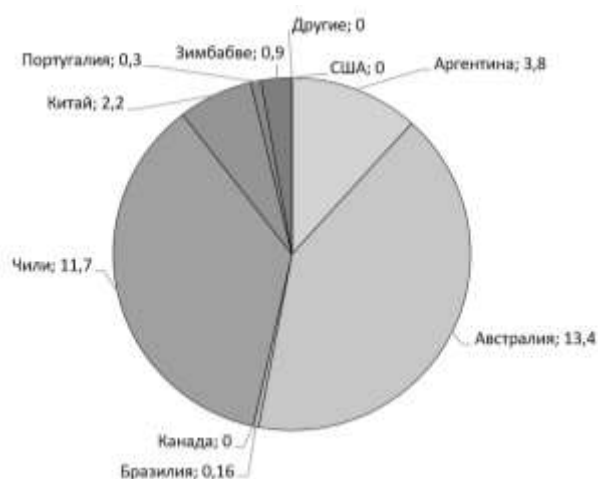


Рис. 2. Добыча лития в 2015 г. (в тыс. т)

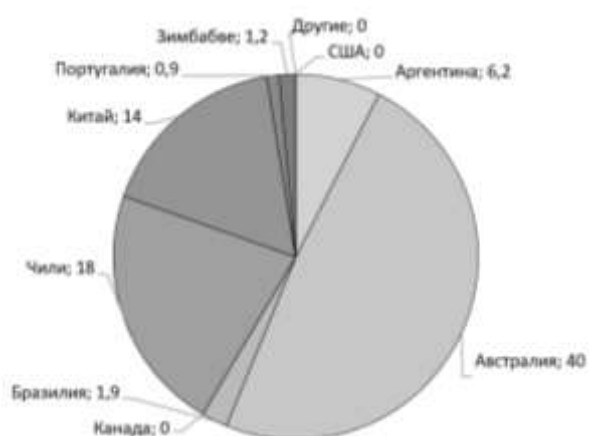


Рис. 3. Добыча лития в 2020 г. (в тыс. т)

В перспективе свои объемы будут наращивать США вместе с производством

аккумуляторных батарей, большая часть которых, вероятно, потребуется для производства электромобилей Tesla [9]. Таким образом, уровень добычи стал превышать спрос, что позволило увеличить запасы стран – в 2020 г. запасы добытого лития составляли 21 000 тыс. тонн (рис. 4 и 5).

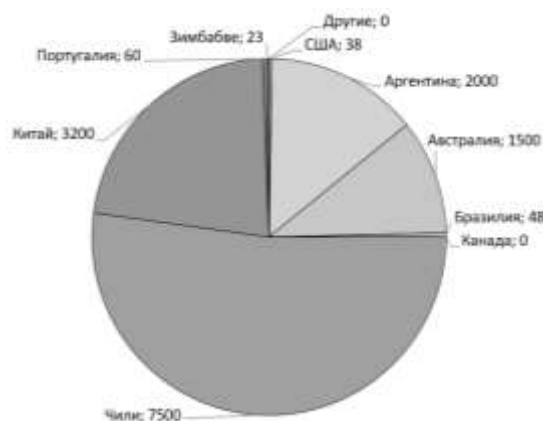


Рис. 4. Запасы лития по состоянию на 2015 г. (в тыс. т)

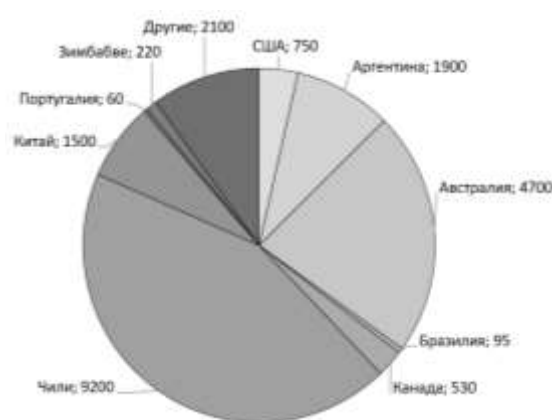


Рис. 5. Запасы лития по состоянию на 2020 г. (в тыс. т)

Стратегия Европейского союза предполагает к 2035 г. прекращение производства автомобилей с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). С учетом растущего рынка электромобилей, на долю которых сейчас приходится больше половины добываемого лития, и на основе данных по уровню продаж в ЕС гибридных и электромобилей (3,7% от общего объема в 2017 г. и 17,3% в 2020 г.) построим модель,

прогнозирующую потребление лития. Модель представлена на рис. 6. Исходные данные по автомобилям и граничные

условия модели, предполагающие отказ от ДВС к 2035 г., показаны в табл. 1.

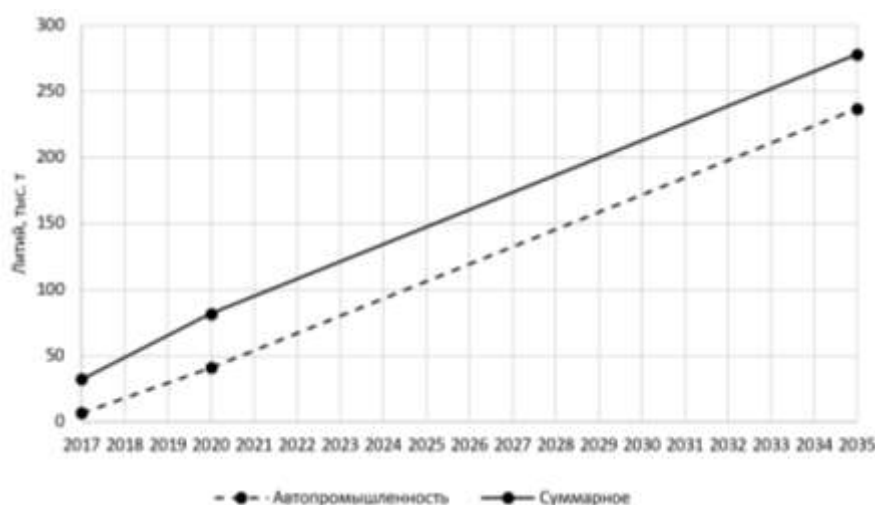


Рис. 6. Прогноз потребления лития, предусматривающий полный переход автомобильной промышленности ЕС на производство гибридных и электромобилей

Т а б л и ц а 1

Данные для модели по количеству электромобилей*

	Количество проданных в ЕС гибридных и электромобилей		Прогноз к 2035
	2017	2020	
Количество единиц	396 756	1 906 633	11 021 000*
Процент от общего количества автомобилей	3,6	17	100

* Общее количество проданных в ЕС легковых машин во втором полугодии 2020 г. – первом полугодии 2021 г. (предполагается, что существенного роста общих продаж автомобилей к 2035 г. не будет).

Прогноз потребления лития

На основе данных за 2020 г. с использованием прогноза по продаже в ЕС гибридных и электромобилей к 2035 г. можно получить следующий прогноз по потреблению лития автопромышленностью в 2035 г.:

$$(41 / 1\,906\,633) \cdot 11\,021\,000 = 236,9942 \text{ тыс. т,}$$

где 41 тыс. т – общее потребление лития автопромышленностью по данным 2020 г.;

1 906 633 тыс. т – объем продаж электромобилей и гибридных автомобилей в Европе по данным 2020 г.

В табл. 2 приведены данные по прогнозу потребления лития в 2035 г., исходя из данных по текущему потреблению лития и данных, приведенных в табл. 1.

Т а б л и ц а 2

Данные для модели по потреблению лития

	Объем потребляемого лития, тыс. т		Прогноз к 2035
	2017	2020	
Автопромышленность	6,763006	41	236,9942
Суммарное	32,5	82	277,9942*

* Предполагается, что объем использования лития прочими областями промышленности (кроме автопромышленности) к 2035 г. не изменится по сравнению с 2020 г.

Нужно учитывать, что эта характеристическая модель не учитывает уже добытые запасы лития, фиксирует на сегодняшнем уровне потребление остальных областей промышленности, а также не учитывает частичный переход на электроавтомобили остальной части мира [4]. По нашему мнению, темпы перехода остальных стран будут ниже, так как на данный момент подобных стратегий автомобильной промышленности в них не заявлено.

Модель позволяет оценить, что необходимый уровень добычи лития вырастет примерно в 4 раза и достигнет уровня почти в 300 тыс. тонн в год. Такой объем добычи потребует новых вложений в добычу и переработку лития. Например, прогноз Bloomberg¹ предполагает удешевление стоимости батарей в расчете на кВт · ч емкости с 1,183 доллара в 2019 г. до 93 в 2024 г. и 61 доллара в 2030 г. Тем не менее на данный момент ценовой объем рынка лития в 15 раз меньше, чем у редкоземельных элементов, и если в ближайшие годы производители лития не смогут обеспечить баланс предложения и спроса, можно ждать еще больший скачок цен на литий, чем в 2018 г.

Что касается редкоземельных элементов, то в 2015 г. Китай лидировал на рынке (почти 90% добычи). В Китае сосредоточено примерно 50% (90 млн т) всех разведанных мировых запасов, в США – 14%, странах СНГ – 21%, далее идут Австралия, Индия, Бразилия и другие страны, включая Россию. При этом половину объема добываемых у себя редкоземельных элементов потребляет собственная промышленность Китая. В последние годы Китай снижает экспорт редкоземельных металлов и повышает экспортные пошлины на редкоземельные элементы, вследствие чего растут мировые цены [6]. Для экономической и сырьевой безопасности вместе с общемировым повышением потребления редкоземельных элементов уровень добычи стали

наращивать остальные страны, имеющие запасы. Так, в 2020 г. доля добычи Китая составляла уже не 90, а 60% мировой добычи (рис. 7 и 8)².

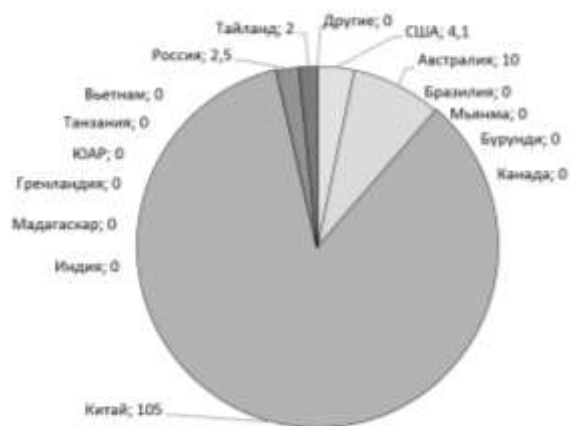


Рис. 7. Добыча редкоземельных металлов по состоянию на 2015 г. (в тыс. т)

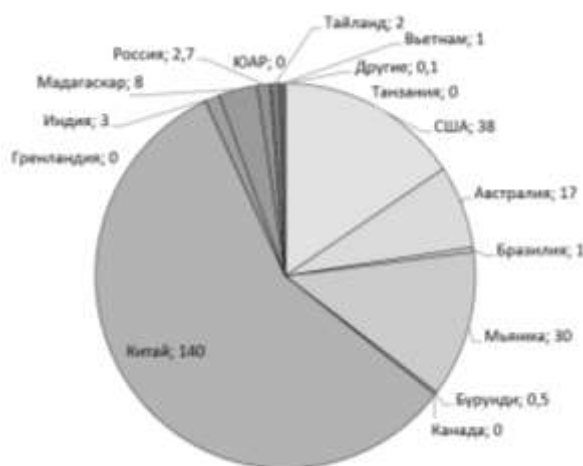


Рис. 8. Добыча редкоземельных металлов по состоянию на 2020 г. (в тыс. т)

Структура добычи РЗЭ в мире

Редкоземельные запасы Китая, Австралии, России и Индии являются главными в мировой структуре запасов [5].

¹ URL: https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/928908_NEO2020-Executive-Summary.pdf (дата обращения: 12.08.2021).

² URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021-rare-earths.pdf>; <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/rare-earth/mcs-2016-rare.pdf> (дата обращения: 12.08.2021).

Почти четверть (60 тыс. тонн) всех добываемых редкоземельных металлов используется для производства постоянных магнитов, основным используемым редкоземельным элементом при этом является неодим. До начала массового производства литий-полимерных аккумуляторов ситуация была несколько иной – в общем потреблении редкоземельных элементов лидировали церий и лантан, их применяли при производстве аккумуляторов с твердым электролитом и никель-металлогидридных аккумуляторов соответственно, но их доля на рынке уменьшилась благодаря низкой стоимости и высоким потребительским характеристикам литиевых аккумуляторов [10]. Со временем доля до-

бываемого неодима среди редкоземельных элементов будет только расти, так как постоянные магниты используются при строительстве ветряных электростанций и в двигателях электроавтомобилей. Так, для производства ветрогенератора на каждый 1 МВт его мощности требуется до 200 кг неодима, а для двигателей каждого электроавтомобиля – порядка 2,5 кг неодима. Такое высокое потребление связано с увеличением доли зеленой энергетики, основывающейся большей частью на ветряных электростанциях. На этом фоне, помимо увеличения добычи, страны стали увеличивать запасы редкоземельных элементов, являющихся стратегически важным сырьем (рис. 9 и 10).

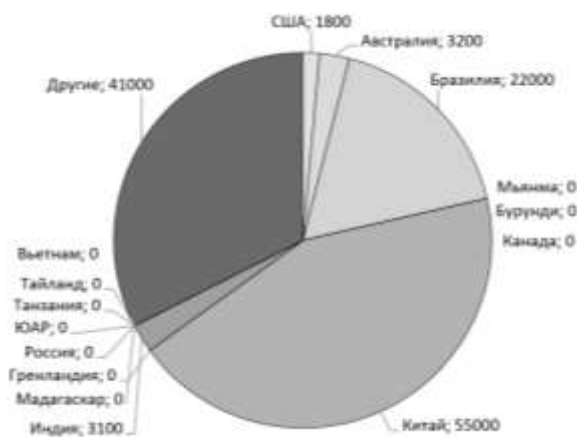


Рис. 9. Извлеченные резервы редкоземельных металлов по состоянию на 2015 г. (в тыс. т)

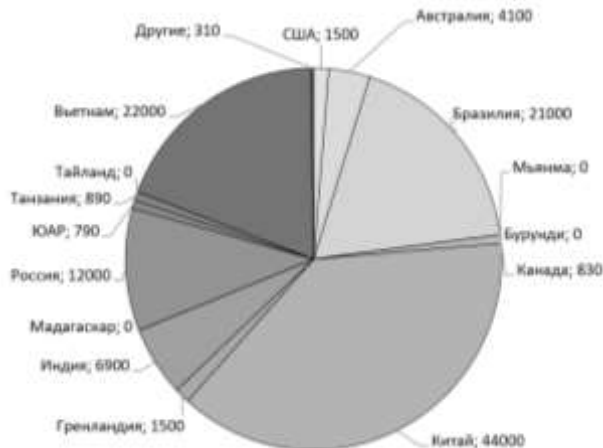


Рис. 10. Извлеченные резервы редкоземельных металлов по состоянию на 2020 г. (в тыс. т)

Прогнозирование

Поскольку Китай является лидером по объему строительства ветряных электростанций, неудивительно, что за последнее десятилетие цена на неодим выросла на 750%, и это не является пределом. Достаточно посмотреть на данные GWEC (Global Wind Energy Council) за 2001–2020 гг., которые хорошо описываются полиномиальной функцией четвертого порядка:

$y = 0,0064x^4 - 0,2625x^3 + 3,5617x^2 - 13,909x + 20,683$,
где y – прирост мощностей ветряных генераторов;

x – временная шкала.

Прогноз самого сообщества, судя по всему, использует полиномиальную функцию третьего порядка (рис. 11)¹:

$$y = 0,0043x^3 - 0,1022x^2 + 4,1978x - 2,4623.$$

Мы считаем, что верны оба варианта, но первый описывает желаемое, а второй – возможную ситуацию. По данным на конец 2020 г., в мире построены ветряные электростанции, суммарно вырабатывающие 743 ГВт. По оптимистичному прогнозу, описываемому полиномиальной функ-

¹ URL: <https://gwec.net/global-wind-report-2021/> (дата обращения: 12.08.2021).

цией четвертого порядка, до 2025 г. будет введено ветряных электростанций еще на 968 ГВт, по пессимистичному (описывае-

мому полиномиальной функцией третьего порядка) – 469 ГВт (табл. 3 и рис. 11).

Таблица 3

Прирост ветрогенераторных мощностей по оптимистичному прогнозу и прогнозу GWEC*

Прирост, ГВт	2021	2022	2023	2024	2025	Сумма за 5 лет
По оптимистичному прогнозу	112,970	142,686	182,060	232,973	297,458	968,147
По прогнозу GWEC	87,5	81,1	90,5	98	112,2	469,3

* По данным GWEC, 39% всех построенных в мире ветряных электростанций по состоянию на 2020 г. находятся в Китае, а китайская доля от общемировых построенных в 2020 г. ветряных электростанций составляет 55,91%.

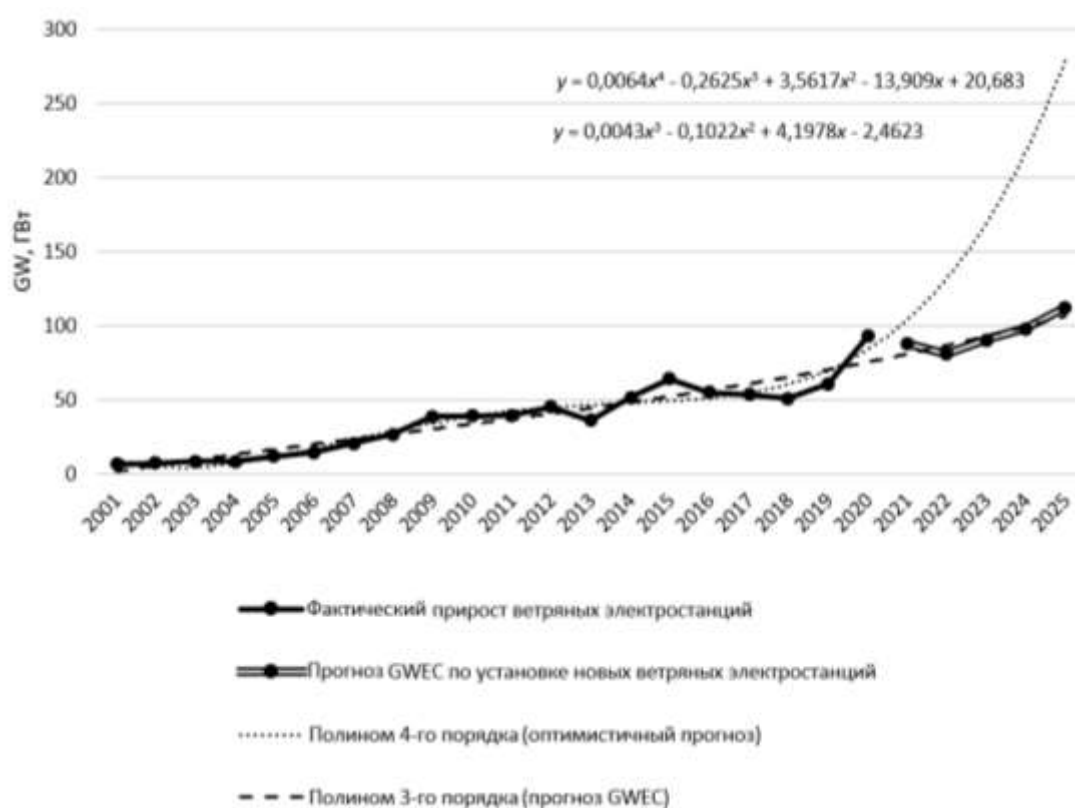


Рис. 11. Данные GWEC по приросту ветряных электростанций и прогноз по приросту до 2025 г.

Оба варианта потребуют повышения годовой добычи неодима в несколько раз, что повысит его стоимость и станет основным фактором, тормозящим рост ветряной энергетики, так как, в отличие от лития, основные месторождения редкоземельных элементов находятся в Китае, который, вероятно, будет увеличивать долю собственного потребления неодима.

Полиномиальные функции были выбраны как хорошо описывающие направления изменения прироста ветряных электростанций за прошлый длительный временной период. Поскольку рост стабилен на протяжении долгого времени, разумно повысить степень полинома с третьего (описывающего прогноз GWEC) до более высокого значения, поскольку с точки зрения математики мы имеем дело с кусочно-

гладкой функцией без разрывов и полином большей степени будет давать более точный прогноз [3].

Для производства электромобилей, объем выпуска которых в ближайшие 10 лет должен вырасти более чем в 5 раз (см. табл. 1), также потребуется большое количество неодима, необходимого для производства магнитов, используемых для электродвигателей.

Вместе с тем ранее Китай ввел запрет на экспорт технологий по добыче и разделению редкоземельных элементов, а также технологии получения сплавов на их основе. С декабря 2022 г. в Китае существует запрет непосредственно на экспорт технологий по производству самарий-кобальтовых, неодим-железо-борных и цериевых магнитов, которые применяются в электромобилях, турбинах ветряных электростанций и электронике.

Ситуация на рынке редкоземельных элементов становится еще более угрожающей. Очень важно, что власти Китая также ограничили с 1 августа 2023 г. экспорт галлия и германия, применяемых в производстве микросхем, солнечных панелей и оптических систем, а с 1 декабря 2023 г. – графита (материала, используемого в производстве аккумуляторов). Эти действия ставят под угрозу технологическую независимость ЕС и США не только от редкоземельных элементов, но и от поставок полупроводников и аккумуляторов, несмотря на то, что Китай не является монополистом на рынке лития [7].

Заключение

На настоящий момент Китай – крупнейший в мире поставщик редкоземельных металлов. В декабре 2022 г. на долю КНР приходилось 63% мирового рынка добычи, 85% рынка переработки и 92% рынка производства редкоземельных магнитов. Редкоземельная промышленность Китая продемонстрировала сильную конкурентоспособность, однако это в большей степени основано на сравнительных преимуществах в природных ресурсах и из-

держках производства и может не обеспечить долгосрочного эффекта для роста конкурентоспособности отрасли в целом.

Китай остается монополистом на рынке неодима и всех остальных редкоземельных элементов, так как их добыча ведется параллельно из одного и того же сырья (большая часть этого сырья используется для производства неодимовых магнитов). При этом ситуация, скорее всего, не поменяется, поскольку, помимо сравнительно небольших объемов запасов редкоземельных элементов в других странах, очень велика стоимость введения новых крупных предприятий по добыче, а основной текущий носитель технологий – Китай – запретил их экспорт. Кроме того, европейские страны и Америка не могут позволить себе того, с чем мирится Китай: производство редкоземельных элементов из руды не только сложное и дорогостоящее, но еще и очень неэкологичное, поэтому шесть самых экологически неблагополучных районов в мире находятся в Китае и имеют предприятия по добыче и переработке редкоземельных элементов.

В ближайшие пять лет суммарная установленная мощность ветроэнергетических установок вырастет в диапазоне от полутора (при консервативном прогнозировании) до двух с половиной (при оптимистичном прогнозе) раз. Учитывая, что уже сегодня доля ветроэнергетики достигает 17% от общего объема выработки электроэнергии в ЕС и больше 10% в мире, можно сделать вывод, что ветроэнергетика в ближайшем будущем станет одним из основных источников не только возобновляемой энергетики, но и всей энергосистемы в целом. Также следует ожидать, что к 2035 г. количество электромобилей вырастет почти в 30 раз и практически полностью заменит легковой пассажирский транспорт. При этом для обеспечения устойчивого развития и технологической безопасности необходимо уделить особое внимание наиболее важному сырью, необходимому в эпоху энергетического перехода, – редкоземельным элементам, в первую очередь

неодиму, лидирующему по объемам производства и потребления, и литию. Кроме этого, нужен качественно другой уровень инвестиций в развитие технологий производства и утилизации (наиболее проблемная область зеленого транспорта) аккумуляторных батарей и подбора перспективных материалов для повышения их энергоемкости.

Таким образом, важна диверсификация добычи ключевого сырья зеленой энергетики и мест его переработки, чтобы в ближайшее время зеленая энергетика не приблизилась к тупиковому развитию из-за сложившихся к настоящему времени монополий.

Список литературы

1. Berry C. The Paradox of Green Growth: Challenges and Opportunities in Decarbonizing the Lithium-Ion Supply Chain // *Critical Minerals, the Climate Crisis and the Tech Imperium*. – 2023. – Vol. 65. – P. 107–123.
2. Filho W. L., Kotter R., Özuyar P. G., Abubakar I. R., Eustachio J. H. P. P., Matandirotya N. R. Understanding Rare Earth Elements as Critical Raw Materials // *Sustainability*. – 2023. – Vol. 15 (3). – P. 1–19.
3. Gambhir A. Planning a Low-Carbon Energy Transition: What Can and Can't the Models Tell Us? // *Joule*. – 2019. – Vol. 3 (8). – P. 1795–1798.
4. Ghorbani Y., Zhang S. E., Bourdeau J. E., Chipangamate N. S., Rose D. H., Valodia I., Nwaila G. T. The Strategic Role of Lithium in the Green Energy Transition: Towards an OPEC-Style Framework for Green Energy-Mineral Exporting Countries (GEMEC) // *Resources Policy*. – 2024. – N 3.
5. Guo Q., You W. A Comprehensive Evaluation of the International Competitiveness of Strategic Minerals in China, Australia, Russia and India: The Case of Rare Earths // *Resources Policy*. – 2023. – N 85 (PA).
6. Shi J., Liu Y., Sadowski B. M., Alemzero D., Dou S., Sun H., Naseem S. The Role of Economic Growth and Governance on Mineral Rents in Main Critical Minerals Countries // *Resources Policy*. – 2023. – N 83 (1).
7. Sterba J., Krzemień A., Fernández P. R., García-Miranda C. E., Valverde G. F. Lithium Mining: Accelerating the Transition to Sustainable Energy // *Resources Policy*. – 2019. – N 62. – P. 416–426.
8. Su C. W., Shao X., Jia Z., Nepal R., Umar M., Qin M. The Rise of Green Energy Metal: Could Lithium Threaten the Status of Oil? // *Energy Economics*. – 2023. – Vol. 121 (5).
9. Yang Y., Xia S., Qian X. Geopolitics of the Energy Transition // *Journal of Geographical Sciences*. – 2023. – Vol. 33 (4). – P. 683–704.
10. Zhang C., Yan J., You F. Critical Metal Requirement for Clean Energy Transition: A Quantitative Review on the Case of Transportation Electrification // *Advances in Applied Energy*. – 2023. – N 9. – URL: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10163553/1/Critical%20metal%20requirement%20for%20clean%20energy%20transition.pdf>

References

1. Berry C. The Paradox of Green Growth: Challenges and Opportunities in Decarbonizing the Lithium-Ion Supply Chain. *Critical Minerals, the Climate Crisis and the Tech Imperium*, 2023, Vol. 65, pp. 107–123.
2. Filho W. L., Kotter R., Özuyar P. G., Abubakar I. R., Eustachio J. H. P. P., Matandirotya N. R. Understanding Rare Earth Elements as Critical Raw Materials. *Sustainability*, 2023, Vol. 15 (3), pp. 1–19.

3. Gambhir A. Planning a Low-Carbon Energy Transition: What Can and Can't the Models Tell Us? *Joule*, 2019, Vol. 3 (8), pp. 1795–1798.
4. Ghorbani Y., Zhang S. E., Bourdeau J. E., Chipangamate N. S., Rose D. H., Valodia I., Nwaila G. T. The Strategic Role of Lithium in the Green Energy Transition: Towards an OPEC-Style Framework for Green Energy-Mineral Exporting Countries (GEMEC). *Resources Policy*, 2024, No. 3.
5. Guo Q., You W. A Comprehensive Evaluation of the International Competitiveness of Strategic Minerals in China, Australia, Russia and India: The Case of Rare Earths. *Resources Policy*, 2023, No. 85 (PA).
6. Shi J., Liu Y., Sadowski B. M., Alemzero D., Dou S., Sun H., Naseem S. The Role of Economic Growth and Governance on Mineral Rents in Main Critical Minerals Countries. *Resources Policy*, 2023, No. 83 (1).
7. Sterba J., Krzemień A., Fernández P. R., García-Miranda C. E., Valverde G. F. Lithium Mining: Accelerating the Transition to Sustainable Energy. *Resources Policy*, 2019, No. 62, pp. 416–426.
8. Su C. W., Shao X., Jia Z., Nepal R., Umar M., Qin M. The Rise of Green Energy Metal: Could Lithium Threaten the Status of Oil? *Energy Economics*, 2023, Vol. 121 (5).
9. Yang Y., Xia S., Qian X. Geopolitics of the Energy Transition. *Journal of Geographical Sciences*, 2023, Vol. 33 (4), pp. 683–704.
10. Zhang C., Yan J., You F. Critical Metal Requirement for Clean Energy Transition: A Quantitative Review on the Case of Transportation Electrification. *Advances in Applied Energy*, 2023, No. 9. Available at: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10163553/1/Critical%20metal%20requirement%20for%20clean%20energy%20transition.pdf>

Сведения об авторах

Валентин Евгеньевич Шунков

преподаватель Бизнес-школы маркетинга
и предпринимательства

РЭУ им. Г. В. Плеханова.

Адрес: ФГБОУ ВО «Российский экономический
университет имени Г. В. Плеханова», 109992,
Москва, Стремянный пер., д. 36.

E-mail: shunkovjr@niisi.msk.ru

Павел Игоревич Севостьянов

кандидат политических наук, доцент
кафедры политического анализа
и социально-психологических процессов
РЭУ им. Г. В. Плеханова;

действительный государственный советник
Российской Федерации.

Адрес: ФГБОУ ВО «Российский экономический
университет имени Г. В. Плеханова», 109992,
Москва, Стремянный пер., д. 36.

E-mail: Sevostyanov.PI@rea.ru

Information about the authors

Valentin E. Shunkov

Lecturer at the Business School of Marketing
and Entrepreneurship of the PRUE.

Address: Plekhanov Russian University
of Economics, 36 Stremyanny Lane,
Moscow, 109992,
Russian Federation.

E-mail: shunkovjr@niisi.msk.ru

Pavel I. Sevostyanov

PhD, Assistant Professor
of the Department for Political Analysis
and Socio-Psychological
Processes of the PRUE;
Full State Councilor of the Russian Federation.

Address: Plekhanov Russian University
of Economics, 36 Stremyanny Lane,
Moscow, 109992,
Russian Federation.

E-mail: Sevostyanov.PI@rea.ru