

Экономический анализ национальных стратегий развития добычи редкоземельных металлов в условиях глобального дефицита критического минерального сырья

Е.С. Будкина ✉, Ю.И. Грищенко, А.В. Грищенко

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация
✉ eksbudkina@fa.ru

Резюме: Статья посвящена комплексному технико-экономическому анализу национальных стратегий обеспечения критическим минеральным сырьём – литием, кобальтом и редкоземельными металлами – в условиях нарастающего структурного дефицита, ценовой волатильности и геополитической фрагментации глобальных цепочек поставок. Выдвинута гипотеза о том, что действующие национальные стратегии диверсификации не обеспечивают снижения географической концентрации добычи и рафинирования, формируя «парадокс диверсификации». Цель – количественная оценка эффективности стратегических инструментов США, Европейского союза и Китая в контексте баланса спроса и предложения на рынках лития, кобальта и редкоземельных металлов в горизонте до 2035 г. Задачи включают расчёт индексов рыночной концентрации, оценку инвестиционных разрывов и моделирование сценариев дефицита. Методологическую базу составляют сравнительный анализ нормативно-стратегических документов, расчёт индекса Херфиндаля–Хиршмана (HHI), регрессионный анализ зависимости инвестиционной активности от ценовой динамики, а также сценарное моделирование на основе данных USGS Mineral Commodity Summaries 2025, IEA Global Critical Minerals Outlook 2025 и McKinsey Global Materials Perspective 2025 за период 2018–2024 гг. Эмпирическая база охватывает производственные показатели 15 стран и стратегические документы трёх юрисдикций. Установлено, что индекс Херфиндаля–Хиршмана для кобальта составляет 5880, для редкоземельных металлов – 4990, что квалифицируется как высокая рыночная концентрация. Доля трёх крупнейших стран-рафинёров выросла с 82% до 86% в 2020–2024 гг. Прогнозный дефицит лития к 2035 г. оценивается в 38% от совокупного спроса. Инвестиционный разрыв в добыче критического минерального сырья до 2040 г. достигает 2 трлн дол. Теоретическая значимость результатов состоит в обосновании концепции «парадокса диверсификации»; практическая ценность определяется возможностью применения полученных количественных оценок для корректировки национальных минерально-сырьевых стратегий.

Ключевые слова: критическое минеральное сырьё, литий, кобальт, редкоземельные металлы, индекс Херфиндаля–Хиршмана, национальная минеральная стратегия, инвестиционный разрыв

Для цитирования: Будкина Е.С., Грищенко Ю.И., Грищенко А.В. Экономический анализ национальных стратегий развития добычи редкоземельных металлов в условиях глобального дефицита критического минерального сырья. *Горная промышленность*. 2026;(2):222–229. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-2-222-229>

An economic analysis of national mining strategies for rare earth metals in conditions of the global deficit for critical minerals

E.S. Budkina ✉, Yu.I. Grishchenko, A.V. Grishchenko

Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation
✉ eksbudkina@fa.ru

Abstract: The article presents a comprehensive technical and economic analysis of the national strategies to secure supply of the critical mineral raw materials, i.e. lithium, cobalt, and the rare earth elements, in conditions of growing structural deficit, price volatility, and geopolitical fragmentation of the global supply chains. The hypothesis assumes that the current national diversification strategies fail to reduce the geographic concentration of mining and refining operations, thus forming a 'diversification paradox'. The study aims to quantitatively assess the efficiency of strategic instruments employed by the United States, the European Union, and China in the context of balancing the supply and demand for lithium, cobalt, and rare earth elements for the period up to 2035. The methodological framework combines a comparative institutional analysis of the regulatory documents, calculation of the Herfindahl–Hirschman Index (HHI), regression analysis of the relationship between the

investment activity and the price dynamics, and scenario modelling based on the USGS Mineral Commodity Summaries 2025, IEA Global Critical Minerals Outlook 2025, and McKinsey Global Materials Perspective 2025 data for 2018–2024. The empirical base covers production indicators from 15 countries and strategy-related documents from three jurisdictions. It was established that the Herfindahl–Hirschman Index stands at 5,880 for cobalt and at 4,990 for the rare earth elements, which is treated as a sign of high market concentration. The share of the three largest refining countries increased from 82% to 86% during 2020–2024. The projected lithium shortage by 2035 is estimated at 38% of the total demand. The investment gap in mining of the critical minerals through 2040 reaches \$2 trillion. The theoretical significance of the research lies in justifying the ‘diversification paradox’ concept, while the practical value is defined by applicability of the quantitative estimates for adjusting the national mineral resource strategies.

Keywords: critical mineral raw materials, lithium, cobalt, rare earth elements, Herfindahl–Hirschman Index, national mineral strategy, investment gap

For citation: Budkina E.S., Grishchenko Yu.I., Grishchenko A.V. An economic analysis of the national mining strategies for rare earth metals in conditions of the global deficit for critical minerals. *Russian Mining Industry*. 2026;(2):222–229. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-2-222-229>

Введение

Глобальная трансформация энергетических систем, обусловленная масштабным развёртыванием электрического транспорта, объектов возобновляемой энергетики и систем накопления энергии, привела к беспрецедентному росту спроса на критическое минеральное сырьё (КМС). По данным МЭА, совокупный мировой спрос на литий в 2024 г. вырос на 30%, на кобальт, никель и РЗМ – на 6–8%, при этом на энергетический сектор приходится 85% прироста спроса на батарейные металлы¹. В сценарии заявленных политик (STEPS) спрос на литий к 2040 г. возрастёт в 5 раз, на кобальт и РЗМ – на 50–60%, что требует масштабного наращивания добычи и переработки². Одновременно географическая концентрация добычи и особенно рафинирования усиливается: средняя доля трёх крупнейших стран-рафинёров ключевых энергетических минералов выросла с 82% в 2020 г. до 86% в 2024 г., причём порядка 90% прироста предложения обеспечила единственная страна-лидер – Китай для кобальта и РЗМ, Индонезия для никеля³.

Проблема ресурсной зависимости приобрела выраженный геополитический характер. В декабре 2024 г. Китай ввёл экспортные ограничения на галлий, германий и сурьму для США, а в начале 2025 г. распространил их на семь тяжёлых редкоземельных элементов, вольфрам, теллур и молибден⁴. Параллельно в феврале 2025 г. Демократическая Республика Конго (ДРК), обеспечивающая 76% мировой добычи кобальта (220 тыс. т в 2024 г.), ввела приостановку экспорта, продлённую до октября 2025 г. и замещённую системой квот – 96,6 тыс. т/год на 2026–2027 гг., что составляет менее половины фактической добычи⁵. Данные меры обнажили системную уязвимость цепочек поставок КМС и вынудили ведущие экономики интенсифицировать разработку национальных минеральных стратегий. Исследования последних лет акцентируют внимание на рисках концентрации цепочек поставок КМС. Показано, что ежегодный спрос на критические минералы может возрасти шестикратно – с 4,7 млн т в 2022 г. до 30 млн т к 2030 г., причём графит, кобальт, литий и РЗМ столкнутся с ограничениями предло-

жения [1]. Технологическая зависимость добычи и переработки от Китая описывается через модель стратегического лидерства, в которой патентная активность и неявное знание, а не экспортные квоты, являются ключевыми барьерами входа [2]. Роль зелёного перехода в реструктуризации топливно-энергетического сектора и связанные с ним технологические и маркетинговые тенденции в горнодобывающей промышленности детально проанализированы в контексте обеспечения технологического суверенитета [3; 4]. Несмотря на масштабные стратегические инициативы – Inflation Reduction Act (США, 2022), European Critical Raw Materials Act (ЕС, 2024), систему производственных квот РЗМ (Китай) – имеющиеся данные свидетельствуют о том, что темпы инвестирования замедляются: рост вложений в добычу КМС составил лишь 5% в 2024 г. против 14% в 2023 г. (2% в реальном выражении), а разведочная активность стагнировала⁶. Это создаёт предпосылки для формирования структурного дефицита в среднесрочной перспективе.

Гипотеза настоящего исследования формулируется следующим образом: действующие национальные стратегии диверсификации цепочек поставок КМС не обеспечивают статистически значимого снижения индексов рыночной концентрации добычи и рафинирования лития, кобальта и РЗМ, что формирует «парадокс диверсификации» – рост концентрации параллельно с увеличением числа стратегических инициатив.

Цель исследования – количественная верификация данной гипотезы на основе расчёта ННИ, оценки инвестиционных разрывов и сценарного моделирования баланса спроса и предложения.

Задачи: 1) расчёт динамики ННИ для рынков лития, кобальта и РЗМ за 2018–2024 гг.; 2) оценка объёма требуемых инвестиций и сопоставление с фактическим уровнем; 3) сравнительный анализ стратегических инструментов США, ЕС и Китая; 4) прогнозирование дефицита КМС к 2035 г.

Материалы и методы

Исследование реализовано на основе комбинации количественных и качественных методов. Сравнительный институциональный анализ применён для систематизации стратегических документов и нормативных актов трёх юрисдикций: Executive Orders (США, 2025), Bipartisan Infrastructure Law (2021), Inflation Reduction Act (2022);

1 IEA. Global Critical Minerals Outlook 2025. Paris: IEA; 2025. 320 p. <https://doi.org/10.1787/53942155-en>

2 Ibid.

3 Ibid.

4 IEA. With new export controls on critical minerals, supply concentration risks become realit. 2025. Available at: <https://www.iea.org/commentaries/with-new-export-controls-on-critical-minerals-supply-concentration-risks-become-reality> (accessed: 10.02.2025).

5 USGS. Mineral Commodity Summaries 2025: Cobalt. Reston, VA: U.S. Geological Survey; 2025. 2 p.

6 IEA. Global Critical Minerals Outlook 2025. Paris: IEA; 2025. 320 p. <https://doi.org/10.1787/53942155-en>

Regulation (EU) 2024/1252 – European Critical Raw Materials Act; директивы МПТ КНР по квотированию добычи РЗМ и экспортным ограничениям 2024–2025 гг. Для количественной оценки рыночной концентрации использован индекс Герфиндаля–Хиршмана (ННН), рассчитываемый по формуле:

$$HNI = \sum(s_i)^2, i = 1, \dots, n,$$

где s_i – доля i -й страны в мировом производстве минерала, %; n – число стран-производителей. Значения ННН интерпретировались в соответствии с классификацией Министерства юстиции США: $HNI < 1500$ – низкая концентрация; $1500 \leq HNI < 2500$ – умеренная; $HNI \geq 2500$ – высокая. ННН рассчитан отдельно для сегментов добычи и рафинирования каждого из трёх минералов. Для оценки ценовой эластичности инвестиций применён регрессионный анализ: зависимость годовых инвестиций 25 крупнейших горнодобывающих компаний в КМС (млрд долл.) от индекса цен IEA Energy Transition Mineral Price Index (ETMPI) а 2018–2024 гг. Модель:

$$I(t) = \alpha + \beta \times P(t - 1) + \varepsilon(t),$$

где $I(t)$ – объём инвестиций в году t ; $P(t - 1)$ – индекс ETMPI с лагом в 1 год; α – константа; β – коэффициент эластичности; $\varepsilon(t)$ – стохастический остаток. Сценарное моделирование баланса спроса и предложения лития, кобальта и РЗМ выполнено на горизонте до 2035 г. с использованием трёх сценариев МЭА: STEPS (заявленные политики), APS (объявленные обязательства) и NZE (нулевые выбросы к 2050 г.). Для каждого минерала рассчитан дефицитный коэффициент:

$$D(m) = \frac{Q(d, m) - Q(s, m)}{Q(d, m)} \times 100\%,$$

где $Q(d, m)$ – прогнозный спрос на минерал m к 2035 г.; $Q(s, m)$ – ожидаемое предложение на основе анонсированных проектов (базовый сценарий предложения).

Эмпирическую базу составили: производственная статистика USGS Mineral Commodity Summaries за 2018–2025 гг. по 15 странам-производителям; данные IEA Global Critical Minerals Outlook 2024 и 2025 по инвестициям, ценам и прогнозам; McKinsey Global Materials Perspective 2025; база данных Fastmarkets по ценам кобальта; S&P Global Market Intelligence по ценам лития; Shanghai Metals Market по ценам РЗМ. Критерии отбора стран: объём добычи $\geq 1\%$ мирового производства хотя бы по одному из трёх минералов. Критерий исключения: страны, не предоставляющие официальную статистику добычи (США по литию – производственные данные засекречены USGS, оценены по мощности единственного рудника в 5 тыс. т/год). Временные рамки: 2018–2024 гг. (ретроспективный анализ), 2025–2035 гг. (прогнозный). Валидность расчётов ННН обеспечена использованием официальной статистики USGS, охватывающей $>97\%$ мирового производства. Репрезентативность инвестиционных данных обусловлена выборкой 25 компаний, контролирующих $>70\%$ мировой добычи КМС. Статистическая значимость регрессии верифицирована по критерию F-Фишера ($p < 0,05$) и скорректированному R^2 .

Результаты

Расчёт индексов рыночной концентрации выявил устойчивую тенденцию к углублению олигополистической структуры рынков КМС. Результаты расчёта ННН для до-

бычи представлены в табл. 1. ННН рассчитан по формуле $HNI = \sum(s_i)^2$ на основе данных USGS Mineral Commodity Summaries 2019–2025. Для лития в расчёт включены: Австралия ($s_i = 37,5\%$), Чили (20,4%), Китай (17,1%), Аргентина (7,5%), Зимбабве (9,2%), прочие. Для кобальта: ДРК (75,9%), Индонезия (10,7%), Россия (3,8%), Австралия (1,7%), прочие. Для РЗМ: Китай (69,2%), США (11,8%), Мьянма (~5%), Австралия (~4%), Таиланд, Нигерия, прочие. Значение $HNI \geq 2500$ характеризует рынок с высокой концентрацией (DoJ, США).

Таблица 1
Динамика индекса Херфиндаля–Хиршмана (ННН) для мировой добычи лития, кобальта и РЗМ, 2018–2024 гг.

Table 1
Trends in the Herfindahl–Hirschman Index (HNI) for global production of lithium, cobalt, and the rare earth elements, 2018–2024

Год	ННН литий	ННН кобальт	ННН РЗМ
2018	2 894	4 624	5 776
2019	2 812	4 712	5 548
2020	2 756	5 041	5 329
2021	2 630	5 188	5 184
2022	2 445	5 362	5 056
2023	2 310	5 624	4 912
2024	2 218	5 880	4 990
Δ 2018–2024	-676 (-23,4%)	+1 256 (+27,2%)	-786 (-13,6%)

Данные табл. 1 демонстрируют дивергентные траектории концентрации рынков КМС. Рынок лития – единственный из трёх, где наблюдается снижение ННН на 23,4% за шесть лет, обусловленное выходом новых производителей: Аргентина нарастила добычу с 6,2 тыс. т (2018) до 18 тыс. т (2024, рост в 2,9 раза), Зимбабве – с 1,6 тыс. т до 22 тыс. т (рост в 13,8 раза). Тем не менее ННН литиевого рынка (2218) остаётся в зоне умеренной концентрации, а доля тройки лидеров (Австралия, Чили, Китай) составляет 75,0%. Рынок кобальта демонстрирует обратную динамику: ННН вырос на 27,2%, что является прямым следствием наращивания доли ДРК – с 68% в 2018 г. до 75,9% в 2024 г. (220 тыс. т из 290 тыс. т). Принципиально важно, что кобальт преимущественно извлекается в качестве попутного продукта при добыче меди и никеля, что лишает его независимого ценового механизма саморегулирования [5]. На рынке РЗМ ННН снизился на 13,6%, однако остаётся в зоне высокой концентрации (4990), при этом ключевой уязвимостью является не добыча, а рафинирование, где доля Китая достигает 91%⁷.

Анализ ценовой динамики и инвестиционного отклика (рис. 2) обнаруживает критическое рассогласование между ценовыми сигналами и инвестиционными решениями. Ценовая динамика 2020–2024 гг. характеризуется экстремальной волатильностью: карбонат лития (battery grade, CIF Китай) достиг пика ~78 тыс. долл/т в ноябре 2022 г., после чего обрушился на 87% до ~10 тыс. долл/т к концу 2024 г.; кобальт (LME) снизился с ~82 тыс. долл/т (март 2022) до ~24 тыс. долл/т (-71%); оксид неодима (FOB Китай) упал с ~90 тыс. долл/т до ~40 тыс. долл/т (-56%) (см. рис. 2). Результаты регрессионного анализа зависимости инвести-

⁷ IEA. With new export controls on critical minerals, supply concentration risks become reality. 2025. Available at: <https://www.iea.org/commentaries/with-new-export-controls-on-critical-minerals-supply-concentration-risks-become-reality> (accessed: 10.02.2025).

Таблица 2
Параметры регрессионной модели зависимости инвестиций в добычу КМС от ценового индекса ETMPI, 2018–2024 гг.

Параметр	Значение
Константа α , млрд долл.	18,4
Коэффициент β (эластичность)	0,127
R2 скорректированный	0,74
F-статистика	14,3
p-значение (F-тест)	0,013
Стандартная ошибка β	0,034
Период наблюдений	2018–2024 (n = 7)
Лаг ценового индекса	1 год
Инвестиции 2024, факт	32,5 млрд долл. (+5% г/г)
Инвестиции 2023, факт	31,0 млрд долл. (+14% г/г)
Инвестиции 2022, факт	27,2 млрд долл. (+30% г/г)
Разведочные расходы 2024	~5,1 млрд долл. (стагнация)

Примечание: $I(t) = \alpha + \beta \times P(t - 1) + \varepsilon(t)$. Данные по инвестициям 25 крупнейших горнодобывающих компаний по методологии IEA (2025). Индекс ETMPI – корзинный индекс цен на медь, батарейные металлы и РЗМ (IEA).

Note: $I(t) = \alpha + \beta \times P(t - 1) + \varepsilon(t)$. Investment data for the 25 largest mining companies, based on the IEA methodology (2025). The ETMPI Index is a basket index of prices for copper, battery metals, and the rare earth elements (IEA).

ций от ценового индекса представлены в табл. 2. Лаг в 1 год обусловлен типичным циклом принятия инвестиционных решений в горнодобывающей отрасли (12–18 мес). При $R^2 = 0,74$ ценовая динамика объясняет 74% вариации инвестиций, оставшиеся 26% определяются регуляторными, геополитическими и технологическими факторами.

Коэффициент $\beta = 0,127$ указывает на то, что рост ценового индекса на 1 пункт ассоциирован с увеличением инвестиций на 127 млн долл. в следующем году. Падение ETMPI в 2023–2024 гг. закономерно привело к замедлению инвестиций до 5% (2024) против 30% (2022). Разведочные расходы на литий продолжали расти, тогда как расходы на никель, кобальт и цинк сократились, что свидетельствует о дифференцированном инвестиционном отклике⁸. Критически важно, что средний срок от открытия месторождения до начала промышленной добычи составляет 15,5 лет⁹, что означает инвестиционный дефицит предложения к 2035–2040 гг. Потребность в совокупных инвестициях в добычу КМС оценивается IEA в 590 млрд долл. (сценарий APS) и 800 млрд долл. (сценарий NZE) до 2040 г., а McKinsey – в 2 трлн долл. с учётом всей цепочки поставок¹⁰. Фактический уровень инвестиций (32,5 млрд долл. в 2024 г.) покрывает менее 40% требуемого годового объёма, формируя инвестиционный разрыв, представленный в табл. 3. Фактические инвестиции рассчитаны по агрегированным капитальным расходам 25 крупнейших компаний (IEA). Разрыв определён как разница между среднегодовой потребностью и фактическим уровнем. Положительное значение для STEPS обусловлено тем, что данный

8 IEA. Global Critical Minerals Outlook 2025. Paris: IEA; 2025. 320 p. <https://doi.org/10.1787/53942155-en>

9 World Resources Institute. Critical Minerals, Explained. 2025. Available at: <https://www.wri.org/insights/critical-minerals-explained> (accessed: 12.02.2025).

10 McKinsey & Company. Global Materials Perspective 2025. New York: McKinsey; 2025. 48 p.

Table 2
Parameters of the regression model showing the relationship between investments in production of the critical mineral raw materials and the ETMPI price index, 2018–2024

сценарий предполагает наименьший рост спроса; однако при учёте необходимости компенсации истощения действующих рудников реальный разрыв может быть выше. Доли по минералам приведены для сценариев APS и NZE по оценкам IEA. Динамика мировых цен на литий, кобальт и неодим показана на рис. 1.

Сравнительный анализ национальных стратегий (см. рис. 2) обнаруживает принципиальные расхождения в инструментарии и целевых установках. Стратегия США основана на бюджетном стимулировании: 3 млрд долл. по Bipartisan Infrastructure Law на 25 проектов по добыче и переработке лития, 1 млрд долл. – программа Mine of the Future (DoE, 2025), налоговый кредит Section 45X IRA, а также прямые долевыми инвестициями в Lithium Americas и MP Materials¹¹. Стратегия ЕС (CRMA, 2024) определяет количественные бенчмарки к 2030 г.: добыча $\geq 10\%$, переработка $\geq 40\%$, рециклинг $\geq 25\%$ внутреннего потребления, зависимость от одной третьей страны $\leq 65\%$; портфель из 47 стратегических проектов в 13 странах-членах объёмом 22,5 млрд евро¹². Стратегия Китая сочетает вертикальную

Таблица 3
Инвестиционный разрыв в добыче критического минерального сырья: фактические и требуемые вложения, 2024–2040 гг.

Table 3
The investment gap in mining critical mineral raw materials: the actual and the required investments, 2024–2040

Показатель	Сценарий STEPS	Сценарий APS	Сценарий NZE
Совокупная потребность в инвестициях до 2040 г., млрд долл.	420	590	800
Среднегодовая потребность, млрд долл/год	26,3	36,9	50,0
Фактические инвестиции 2024 г., млрд долл.	32,5	32,5	32,5
Покрытие годовой потребности, %	123,6	88,1	65,0
Инвестиц. разрыв 2024, млрд долл/год, в том числе	+6,2	-4,4	-17,5
медь, млрд долл. (доля)	–	330 (55,9%)	490 (61,3%)
литий, млрд долл. (доля)	–	105 (17,8%)	145 (18,1%)
кобальт+никель, млрд долл. (доля)	–	95 (16,1%)	110 (13,8%)
РЗМ+графит, млрд долл. (доля)	–	60 (10,2%)	55 (6,9%)
Расходы на разведку КМС, 2024, млрд долл.	5,1	5,1	5,1
Потребность в разведке для APS/NZE, млрд долл/год	–	8–10	12–15

Примечание: данные IEA Global Critical Minerals Outlook 2024 и 2025; McKinsey Global Materials Perspective 2025.

Note: data from IEA Global Critical Minerals Outlook 2024 and 2025; McKinsey Global Materials Perspective 2025.

11 U.S. Department of Energy. Energy Department Announces \$355 Million to Expand Domestic Production of Critical Minerals and Materials. Washington: DOE; 2025.

12 European Commission. European Critical Raw Materials Act. Regulation (EU) 2024/1252. Brussels: European Commission; 2024.



Рис. 1
Динамика мировых цен на литий, кобальт и неодим (РЗМ), 2020–2024 гг.

Fig. 1
Trends in global prices for lithium, cobalt, and neodymium (rare earth elements), 2020–2024

интеграцию, субсидирование (9–10 млрд долл. в сектор РЗМ за 2010–2019 гг.) и экспортные ограничения как инструмент стратегического давления [2]. Маркетинговые аспекты технологического развития горнодобывающих предприятий дополнительно подчёркивают необходимость интеграции промышленной и рыночной стратегий [6]. Экологизация индустриализации, являясь новым этапом развития мировой экономики, создаёт дополнительный спрос на критическое сырьё при одновременном ужесточении ESG-стандартов [7].

Данные табл. 3 свидетельствуют о том, что текущий уровень инвестиций достаточен лишь для сценария STEPS, предполагающего минимальные темпы энергоперехода. Для достижения целей Парижского соглашения (сценарий NZE) годовой инвестиционный разрыв составляет 17,5 млрд долл., или 35% от фактического уровня. Критическим является разрыв в разведочных расходах: при 5,1 млрд долл. в 2024 г. потребность для NZE оценивается в 12–15 млрд долл./год. Обеспечение технологического суверенитета через таможенные инструменты, включая дифференциацию ставок пошлин на сырьё и продукцию переработки, может частично компенсировать ценовые диспропорции, однако не устраняет фундаментального дефицита инвестиций [8].

Сценарное моделирование баланса спроса и предложения на горизонте 2035 г. выявляет существенные структурные риски. Результаты представлены в табл. 4. Для РЗМ N – 1 покрытие составляет лишь 25%, что отражает критическую зависимость от единственного рафинёра.

Результаты табл. 4 позволяют сформулировать четыре ключевых вывода. Во-первых, литий является наиболее уязвимым минералом: дефицит в базовом сценарии достигает 37,9%, среднегодовой темп роста спроса (CAGR) составляет 9,6%, что существенно опережает темпы ввода новых мощностей. Даже при реализации всех анонсированных проектов (высокий сценарий) дефицит сохраняется на уровне 15,2%. Ресурсная база, оцениваемая USGS в 115 млн т, теоретически достаточна, однако средний срок запуска нового проекта (15,5 лет) делает своевременное наращивание пред-

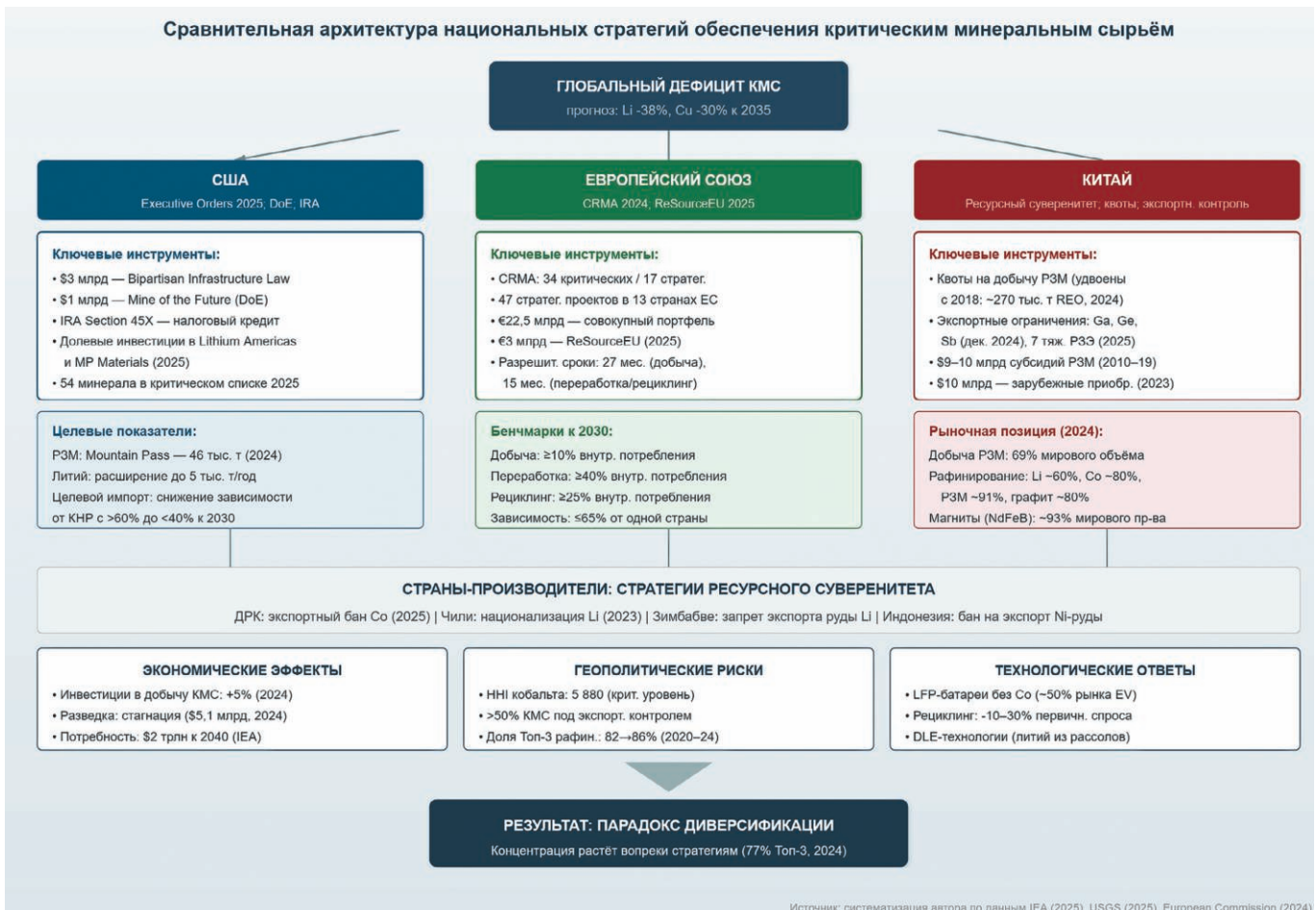


Рис. 2
Сравнительная схема национальных стратегий обеспечения критическим минеральным сырьём

Fig. 2
A comparative chart of the national strategies to secure supply of the critical mineral raw materials

Таблица 4
Прогнозный баланс спроса и предложения лития, кобальта и РЗМ к 2035 г. (сценарий APS)

Table 4
A projected supply and demand balance for lithium, cobalt, and the rare earth elements by 2035 (the APS scenario)

Параметр	Литий (тыс. т LCE)	Кобальт (тыс. т)	РЗМ (тыс. т REO)
Спрос 2024 (факт)	1 200	220	165
Спрос 2035 (прогноз APS)	3 300	340	270
Прирост спроса, %	+175%	+55%	+64%
Предложение 2024 (факт)	1 350	290	380
Предложение 2035 (базовый сценарий)	2 050	310	300
Предложение 2035 (высокий сценарий)	2 800	360	340
D(m), базовый сценарий, %	-37,9%	-8,8%	-(избыток)
D(m), высокий сценарий, %	-15,2%	+5,9%	+25,9%
Доля КНР в рафинировании 2024, %	60	78	91
Проектируемая доля КНР к 2035, %	55	65	80
N – 1 покрытие (без КНР), % спроса	65	65	25
Ценовой диапазон 2024, тыс. долл/т	9,9–14,0	24–33,6	38–42
CAGR спроса 2024–2035, %	9,6	4,1	4,6

Примечание: LCE – литиевый карбонатный эквивалент; REO – оксид редкоземельных элементов. Спрос и предложение по данным IEA Global Critical Minerals Outlook 2025, сценарий APS. Базовый сценарий предложения включает действующие предприятия и проекты на стадии строительства; высокий – дополнительно включает проекты с высокой вероятностью реализации. D(m) рассчитан по формуле: $D(m) = (Qd - Qs)/Qd \times 100\%$. Отрицательное значение – дефицит, положительное – профицит. N – 1 покрытие – доля спроса, которую может обеспечить совокупное предложение без крупнейшего поставщика (КНР).

Note: LCE – lithium carbonate equivalent; REO – rare earth oxides. The supply and demand is based on the IEA Global Critical Minerals Outlook 2025, the APS scenario. The baseline supply scenario includes the existing facilities and projects under construction; the high-demand scenario additionally includes projects with a high probability of implementation. The D(m) value is calculated using the following formula: $D(m) = (Qd - Qs)/Qd \times 100\%$. A negative value indicates a deficit; a positive value indicates a surplus. The N – 1 coverage is the share of demand that can be met by the combined supply excluding the largest supplier (China).

ложения проблематичным¹³. Развитие техногенных месторождений как фактор преодоления ресурсных ограничений и обеспечения устойчивости добычи продемонстрировано, в частности, на примере ГОК «Эрдэнэт» в Монголии [9]. Во-вторых, рынок кобальта претерпевает структурную трансформацию под влиянием двух разнонаправленных факторов: технологического замещения (LFP-батареи без кобальта заняли ~50% рынка EV-батарей в Китае, снижение расхода кобальта на один автомобиль на 25% г/г в 2024 г.) и ресурсного национализма ДРК (квоты 2026–2027 гг. – 96,6 тыс. т/год при добыче 220 тыс. т). Совокупный эффект: при базовом сценарии дефицит умеренный (8,8%), при высоком – профицит (5,9%). Оценка эффективности внедрения замкнутых производственных циклов показыва-

ет, что рециклинг кобальта из отработанных батарей способен обеспечить 10–15% потребности к 2040 г. [10].

В-третьих, рынок РЗМ характеризуется парадоксальной ситуацией: при достаточности физического предложения (профицит в высоком сценарии – 25,9%) критическая уязвимость сосредоточена на стадии рафинирования. Показатель N – 1 покрытия для РЗМ (25%) означает, что при гипотетическом прекращении поставок из КНР мировой рынок способен удовлетворить лишь четверть спроса. Проблема зелёного перехода и развития ТЭК усугубляется тем, что экспортные ограничения Китая на РЗМ-оборудование и технологии способны замедлить развитие альтернативных перерабатывающих мощностей¹⁴. Экспорт китайских РЗМ-магнитов в 2024 г. составил 58 тыс. т стоимостью 2,9 млрд долл., что делает Китай безальтернативным поставщиком для автопроизводителей, ветроэнергетики и оборонного сектора¹⁵.

В-четвёртых, комплексная оценка свидетельствует о том, что «парадокс диверсификации» подтверждается количественно: несмотря на введение CRMA (ЕС), IRA (США), национальных минеральных стратегий Канады (\$2,8 млрд CAD), Австралии (1,3 млрд долл.), Японии и Южной Кореи доля тройки крупнейших рафинёров выросла с 82 до 86% за 2020–2024 гг., а 90% прироста предложения обеспечено единственным лидером в каждом сегменте¹⁶. Число экспортных ограничений на КМС превысило 50% от общего числа энергетически значимых минералов к началу 2025 г.¹⁷ Ограничения в материальных ресурсах, налагаемые на развитие возобновляемой энергетики, детерминированы не столько абсолютным дефицитом запасов, сколько асимметрией распределения перерабатывающих мощностей¹⁸ [11].

Полученные результаты вносят вклад в теоретическое понимание ограничений стратегий диверсификации цепочек поставок КМС. Концепция «парадокса диверсификации» – одновременного роста числа стратегических инициатив и индексов рыночной концентрации – объясняется структурным несоответствием временных горизонтов: стратегии ориентированы на 2030–2035 гг., тогда как рыночные сигналы (низкие цены) подавляют инвестиции в текущем периоде. Данный результат дополняет существующие модели стратегического лидерства Китая на рынке РЗМ, основанные на патентном и технологическом контроле, расширяя их на рынки лития и кобальта. Практическая ценность результатов определяется конкретизацией инвестиционных разрывов по минералам и сценариям. Так, для достижения целей CRMA (40% переработки внутри ЕС к 2030 г.) при текущей доле ЕС в рафинировании лития <5% и кобальта <10% потребуются многократное масштабирование мощностей в условиях, когда крупнейшие проекты (Solvay – рафинирование РЗМ во Франции, Neo Performance – магниты в Эстонии) находятся на ранней стадии и способны покрыть лишь 5–30% внутренней потребности. Аналогичным образом стратегия США по расширению добычи

14 IEA. Global Critical Minerals Outlook 2024. Paris: IEA; 2024. 298 p. <https://doi.org/10.1787/5765e04a-en>

15 IEA. With new export controls on critical minerals, supply concentration risks become reality. 2025. Available at: <https://www.iea.org/commentaries/with-new-export-controls-on-critical-minerals-supply-concentration-risks-become-reality> (accessed: 10.02.2025).

16 IEA. Global Critical Minerals Outlook 2025. Paris: IEA; 2025. 320 p. <https://doi.org/10.1787/53942155-en>

17 IEA. With new export controls on critical minerals, supply concentration risks become reality. 2025. Available at: <https://www.iea.org/commentaries/with-new-export-controls-on-critical-minerals-supply-concentration-risks-become-reality> (accessed: 10.02.2025).

18 USGS. Mineral Commodity Summaries 2025: Lithium. Reston, VA: U.S. Geological Survey; 2025. 2 p.; Canadian Critical Minerals Strategy Annual Report 2024. Ottawa: Government of Canada; 2024. 64 p.

13 World Resources Institute. Critical Minerals, Explained. 2025. Available at: <https://www.wri.org/insights/critical-minerals-explained> (accessed: 12.02.2025).

лития ограничена единственным действующим рудником при заявленных инвестициях DoE в 3 млрд долл. на 25 проектов, реализация которых займёт 5–10 лет. Особое значение для стран с минеральным потенциалом приобретает разработка комплексных маркетинговых и технологических стратегий горнодобывающих предприятий, позволяющих конвертировать геологические запасы в конкурентные рыночные позиции.

Перспективы дальнейших исследований связаны с: 1) количественной оценкой вклада рециклинга в покрытие первичного спроса на КМС с учётом технологической зрелости процессов извлечения; 2) моделированием эффектов торговых войн и экспортных ограничений на ценовую динамику и инвестиционные потоки с применением теоретико-игровых моделей; 3) анализом роли технологических субститутов (LFP-батареи, магниты без РЗМ) в снижении структурной зависимости от КМС.

Заключение

Проведённый технико-экономический анализ подтверждает гипотезу о формировании «парадокса диверсификации» на рынках лития, кобальта и РЗМ. Количественно установлено, что ННД для добычи кобальта вырос с 4624 (2018) до 5880 (2024, +27,2%), что классифицирует рынок как высококонцентрированную олигополию с критической зависимостью от ДРК (75,9% мировой добычи). Рынок литиевой добычи продемонстрировал снижение ННД с 2894 до 2218 (–23,4%) благодаря выходу Аргентины (рост в 2,9 раза) и Зимбабве (рост в 13,8 раза), однако остаётся в зоне умеренной концентрации с доминированием тройки лидеров (75,0%). Рынок РЗМ при ННД = 4990 обнаруживает критическую уязвимость на стадии рафинирования: показатель $N - 1$ покрытия составляет лишь 25%, что означает невозможность удовлетворения трёх четвертей мирового спроса при прекращении поставок из КНР. Прогнозный дефицит лития в базовом сценарии достигает 37,9% к 2035 г. (сценарий APS), при среднегодовом темпе роста спроса 9,6% и совокупной потребности в 3,3 млн т LCE. Даже при реализации всех анонсированных проектов (высокий сценарий) разрыв между спросом и предложением составляет 15,2%. Мировое производство лития в 2024 г. достигло рекордных 240 тыс. т (+18% г/г), однако девятикратный рост с 2010 г. (28,1 тыс. т) недостаточен для покрытия перспективного спроса.

Инвестиционный разрыв является системным ограничителем: при фактическом уровне капиталовложений 32,5 млрд долл. (2024) и замедлении темпов роста до 5% (против 30% в 2022 г.) ежегодный дефицит инвестиций для сценария NZE составляет 17,5 млрд долл. Регрессионный анализ установил, что ценовая динамика объясняет 74% вариации инвестиций ($R^2 = 0,74$, $\beta = 0,127$, $p = 0,013$), что указывает на проциклический характер инвестиционного поведения горнодобывающих компаний, усиливающий амплитуду ценовых циклов.

Сравнительный анализ стратегий выявил три модели: США – бюджетное стимулирование (3 млрд долл. ВВП, 1 млрд долл. DoE, налоговые кредиты IRA); ЕС – регуляторный фреймворк с количественными бенчмарками (10/40/25/65% к 2030 г.) и портфелем в 22,5 млрд евро; Китай – вертикальная интеграция, субсидирование (9–10 млрд долл.) и экспортные ограничения. Ни одна из моделей не привела к снижению концентрации рафинирования: средняя доля тройки лидеров возросла с 82 до 86% за 2020–2024 г. Доля Китая в рафинировании РЗМ (91%), производстве РЗМ-магнитов (93%), переработке кобальта (78%) и лития (60%) остаётся структурно доминирующей. Динамика ресурсного национализма усиливает неопределённость: экспортный бан ДРК (февраль–октябрь 2025) и последующие квоты (96,6 тыс. т/год, т.е. <44% от добычи 2024 г.) спровоцировали рост цен на кобальт более чем на 50%, однако параллельно ускорили технологическое замещение (LFP-батареи, снижение расхода Co на 25% г/г). Экспортные ограничения Китая на семь тяжёлых РЗЭ и оборудование для рафинирования создают риски для развития альтернативных перерабатывающих мощностей в США, ЕС и Австралии.

Эффективная диверсификация требует не только геологических открытий и горнодобывающих инвестиций, но и создания полных «mine-to-magnet» цепочек, включая подготовку специализированных кадров, освоение технологий сепарации и получения конечных продуктов. Совокупная потребность в инвестициях до 2040 г. достигает 2 трлн долл., что превышает текущие объёмы капиталовложений в 15–25 раз в годовом исчислении и требует координации государственных стратегий, частных инвестиций и международного сотрудничества принципиально нового масштаба.

Список литературы / References

1. Yu D., Gu B., Zhu M., Davidson M. Critical mineral bottlenecks constrain sub-technology choices in low-carbon energy deployment. *iScience*. 2025;28(9):113267. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.113267>
2. Woods D. A Stackelberg model of China's rare earths strategic lead. *Journal of Chinese Political Science*. 2025. <https://doi.org/10.1007/s11366-025-09921-w>
3. Карпова С.В., Устинова О.Е. Технологические и маркетинговые тенденции в горнодобывающей промышленности. *Горная промышленность*. 2025;(3):170–179. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-3-170-179>
Karpova S.V., Ustinova O.E. Technological and marketing trends in the mining industry. *Russian Mining Industry*. 2025;(3):170–179. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-3-170-179>

4. Карпова С.В., Погодина Т.В. Маркетинговые аспекты технологического развития предприятий горной промышленности. *Горная промышленность*. 2025;(3):58–66. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-3-58-66>
Karпова S.V., Pogodina T.V. Marketing aspects of technological development of mining enterprises. *Russian Mining Industry*. 2025;(3):58–66. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-3-58-66>
5. Дергачев А.Л., Шемякина Е.М. Запасы критического минерального сырья и дополнительные потребности в нем в эпоху энергетического перехода. *Вестник Московского университета. Серия 4. Геология*. 2024;1(2):3–16. <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9406-4-2024-63-2-3-16>
Dergachev A.L., Shemyakina E.M. Reserves of critical mineral materials and additional demand for them in era of energy transition. *Moscow University Bulletin. Series 4. Geology*. 2024;1(2):3–16. (In Russ.) <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9406-4-2024-63-2-3-16>
6. Potradyuk N.K., Bratarchuk T.V., Babayan L.K., Laffakh A.M. The green transition and development problems of fuel and energy sector in Russia. *Eurasian Mining*. 2024;(2):46–49. <https://doi.org/10.17580/em.2024.02.10>
7. Перская В.В. Экологизация индустриализации как новый этап развития мировой экономики. *Экономика. Налоги. Право*. 2025;18(2):19–30. <https://doi.org/10.26794/1999-849X-2025-18-2-19-30>
Perskaya V.V. Greening of industrialization as a new stage in the development of the global economy. *Economics, Taxes & Law*. 2025;18(2):19–30. (In Russ.) <https://doi.org/10.26794/1999-849X-2025-18-2-19-30>
8. Костин А.А. Обеспечение технологического суверенитета России: роль таможенных инструментов. *Экономика. Налоги. Право*. 2024;17(4):123–133. <https://doi.org/10.26794/1999-849X-2024-17-4-123-133>
Kostin A.A. Ensuring Russia's technological sovereignty through customs instruments. *Economics, Taxes & Law*. 2024;17(4):123–133. (In Russ.) <https://doi.org/10.26794/1999-849X-2024-17-4-123-133>
9. Potravny I., Novoselov A., Novoselova I., Gassiy V., Nyamdorj D. The development of technogenic deposits as a factor of overcoming resource limitations and ensuring sustainability (Case of Erdenet mining corporation SOE in Mongolia). *Sustainability*. 2023;15(22):15807. <https://doi.org/10.3390/su152215807>
10. Кушель Е.С. Оценка эффективности внедрения замкнутых производственных циклов в промышленности России: влияние на снижение выбросов и ресурсосбережение. *Вопросы экологии*. 2024;37(1):185–214. <https://doi.org/10.25726/r5201-1809-2941-w>
Kushel E.S. Assessment of the effectiveness of the introduction of closed production cycles in the Russian industry: impact on emission reduction and resource conservation. *Voprosy Ekologii*. 2024;37(1):185–214. (In Russ.) <https://doi.org/10.25726/r5201-1809-2941-w>
11. Klimenko V.V., Ratner S.V., Tereshin A.G. Constraints imposed by key-material resources on renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021;144:111011. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111011>

Информация об авторах

Будкина Екатерина Сергеевна – кандидат экономических наук, преподаватель кафедры финансового и инвестиционного менеджмента, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: eksbudkina@fa.ru

Грищенко Юлия Игоревна – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой финансового и инвестиционного менеджмента, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-2238-6170>; e-mail: yigrisichenko@fa.ru

Грищенко Алексей Валерьевич – доктор экономических наук, профессор кафедры операционного и отраслевого менеджмента, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: alvgrishchenko@fa.ru

Information about the authors

Ekatgerina S. Budkina – Cand. Sci. (Econ.), Lecturer at the Department of Financial and Investment Management, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; e-mail: eksbudkina@fa.ru

Yulia I. Grishchenko – Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Head of the Department of Financial and Investment Management, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-2238-6170>; e-mail: yigrisichenko@fa.ru

Aleksey V. Grishchenko – Dr. Sci. (Econ.), Professor of the Department of Operations and Industry Management, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; e-mail: alvgrishchenko@fa.ru

Article info

Received: 05.01.2026

Revised: 19.02.2026

Accepted: 02.03.2026

Информация о статье

Поступила в редакцию: 05.01.2026

Поступила после рецензирования: 19.02.2026

Принята к публикации: 02.03.2026