

Сравнительный анализ экономических стратегий развития добычи критических минералов в контексте обеспечения минерально-сырьевой безопасности

С.А. Тронин ✉, В.Б. Фролова, М.П. Лазарев, А.А. Гамиловская

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация

✉ Tron1977@rambler.ru

Резюме: Глобальный спрос на критические минералы в 2024 г. продемонстрировал устойчивый рост: потребление лития увеличилось на 30%, никеля, кобальта, графита и редкоземельных элементов – на 6–8%. Одновременно усилилась географическая концентрация рафинирования: средняя доля трёх крупнейших стран-переработчиков ключевых энергетических минералов выросла с 82% в 2020 г. до 86% в 2024 г., при этом около 90% прироста предложения обеспечивала одна страна – Индонезия для никеля и Китай для остальных минералов. Исследование направлено на сравнительный технико-экономический анализ стратегий развития добычи критических минералов, принятых в ведущих минерально-сырьевых юрисдикциях (Россия, ЕС, США, Китай), и оценку их результативности для обеспечения минерально-сырьевой безопасности. Гипотеза исследования состоит в том, что различия в экономических моделях управления минерально-сырьевым комплексом – протекционистская, диверсификационная, интеграционная – генерируют неоднородные профили минерально-сырьевых рисков, количественно измеряемые через индексы концентрации предложения и коэффициенты импортозависимости. Методологическую базу составляют сравнительный экономический анализ, расчёт индекса Херфиндаля–Хиршмана для рынков шести ключевых энергетических минералов, индексный метод оценки бюджетной уязвимости сырьевых экономик и метод межотраслевого баланса для определения макроэкономического эффекта ценовых шоков. Эмпирическую базу составили данные МЭА, USGS, Евростата и Роснедр за 2020–2025 гг. Результаты показали: 1) индекс Херфиндаля–Хиршмана для рафинирования редкоземельных элементов достиг 6840 пунктов в 2024 г., что соответствует экстремально высокой концентрации; 2) Россия зависит от импорта стратегических минералов (марганец, хром, титан, литий) на 70–80%; 3) ЕС установил целевые ориентиры внутренней добычи 10%, переработки 40% и рециклинга 25% от ежегодного потребления к 2030 г.; 4) инвестиции в добычу критических минералов в 2024 г. выросли лишь на 5% против 14% годом ранее, а с учётом инфляции реальный рост составил 2%. Практическая ценность исследования состоит в выявлении количественных порогов эффективности различных стратегий и разработке рекомендаций по снижению минерально-сырьевой уязвимости.

Ключевые слова: критические минералы, минерально-сырьевая безопасность, индекс Херфиндаля–Хиршмана, импортозависимость, экономическая стратегия, диверсификация цепочек поставок, горнодобывающая промышленность
Для цитирования: Тронин С.А., Фролова В.Б., Лазарев М.П., Гамиловская А.А. Сравнительный анализ экономических стратегий развития добычи критических минералов в контексте обеспечения минерально-сырьевой безопасности. *Горная промышленность*. 2026;(2):104–112. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-2-104-112>

A comparative analysis of economic strategies for development of the critical mineral mining in the context of mineral resource security

S.A. Tronin ✉, V.B. Frolova, M.P. Lazarev, A.A. Gamilovskaya

Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian

✉ Tron1977@rambler.ru

Abstract: The global demand for critical minerals demonstrated sustained growth in 2024: lithium consumption increased by 30%, while nickel, cobalt, graphite, and the rare earth elements went up by 6–8%. At the same time, the geographic concentration of refining also intensified: the average market share of the top three refining nations for the key energy minerals rose from 82% in 2020 to 86% in 2024, with approximately 90% of the supply growth secured by a single country, i.e. Indonesia for nickel and China for all the other minerals. This study presents a comparative technical and economic analysis of the development

strategies for mining the critical mineral that were adopted in the leading mineral resource countries (Russia, the EU, the USA, and China), assessing their efficiency in ensuring the mineral resource security. The research makes a hypothesis that the differences in economic models of mineral resource management, i.e. the protectionist, the diversification-oriented, integrative, and the extensive import-substituting concepts, generate heterogeneous mineral resource risk profiles that can be quantitatively measured using the supply concentration indices and import dependency ratios. The methodological framework comprises comparative economic analysis, the Herfindahl–Hirschman Index calculation for six key energy mineral markets, and the index-based assessment of fiscal vulnerability in the resource-dependent economies, and the input-output analysis to determine the macroeconomic impact of the price shocks. The empirical base includes data from the IEA, USGS, Eurostat, and Rosnedra for 2020–2025. The results revealed that the Herfindahl–Hirschman Index for the rare earth element refining reached 8,310 points in 2024, corresponding to extremely high concentration; Russia's import dependency on the strategic minerals, i.e. manganese, chromium, titanium, lithium, stands at 70–80%; the EU has established domestic benchmarks of 10% of mining, 40% of processing, and 25% recycling by 2030; investment in mining critical minerals grew by only 5% in 2024 versus 14% in the previous year, with real growth adjusted for inflation standing at merely 2%. The practical value of the study lies in identifying the quantitative efficiency thresholds for different strategies and in developing recommendations aimed at reducing the mineral resource vulnerability.

Keywords: critical minerals, mineral resource security, Herfindahl–Hirschman Index, import dependency, economic strategy, supply chain diversification, mining industry

For citation: Tronin S.A., Frolova V.B., Lazarev M.P., Gamilovskaya A.A. A comparative analysis of economic strategies for development of the critical mineral mining in the context of mineral resource security. *Russian Mining Industry*. 2026;(2):104–112. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-2-104-112>

Введение

Трансформация глобальной энергетической системы, обусловленная декарбонизацией и цифровизацией промышленности, привела к беспрецедентному росту спроса на минеральное сырьё, обеспечивающее функционирование чистых энергетических технологий. По данным Международного энергетического агентства, совокупный глобальный спрос на критические минералы к 2040 г. увеличится в 1,5 раза – с 35 380 кт в 2024 г. до более 52 000 кт, при этом спрос на литий вырастет пятикратно, на графит и никель – вдвое, на кобальт и редкоземельные элементы – на 50–60%¹. Минералоёмкость чистых технологий существенно превосходит традиционные: электромобиль требует в 6 раз больше минерального сырья, чем автомобиль с двигателем внутреннего сгорания, а ветровые и солнечные установки – в 6–13 раз больше минералов по сравнению с газовыми электростанциями². Проблема минерально-сырьевой безопасности приобрела критическое геополитическое измерение. Китай контролирует лидирующие позиции в рафинировании 19 из 20 стратегических минералов со средней рыночной долей около 70% в литии, кобальте, графите и редкоземельных элементах³. В декабре 2024 г. КНР запретила экспорт галлия, германия и сурьмы в США, Японию и Нидерланды, а в начале 2025 г. распространила экспортный контроль на вольфрам, индий и висмут [1]. Эти действия обнажили уязвимость глобальных цепочек поставок и актуализировали разработку национальных стратегий минерально-сырьевой безопасности.

Исследования последних лет демонстрируют нарастание противоречия между ускоряющимся спросом и замедляющимися темпами инвестиций в расширение предложения. Инвестиции в развитие добычи критических минералов в 2024 г. выросли лишь на 5% (в реальном выражении – на 2%), тогда как в 2023 г. рост составлял 14% [2]. Геологоразведочная активность стабилизировалась, прервав восходящий тренд 2020–2023 гг. [3]. При этом бюджетная уязвимость стран с сырьевой экономикой усиливается ценовыми шо-

ками: цены на литий, взлетевшие восьмикратно в 2021–2022 гг., обрушились более чем на 80 % к 2024 г.; цены на графит, кобальт и никель снизились на 10–20%⁴. Анализ влияния ценовых шоков на бюджетную устойчивость сырьевых экономик показывает, что волатильность цен на экспортируемые ресурсы генерирует системные риски для государственных финансов, особенно при высокой доле минерально-сырьевого экспорта в бюджетных доходах [4]. Одновременно формируется запрос на интеграцию зелёных технологий в процессы добычи и переработки. Внедрение ресурсосберегающих и низкоуглеродных решений российскими нефтегазовыми и горнодобывающими компаниями рассматривается как фактор снижения углеродного следа и повышения конкурентоспособности отрасли на международных рынках [5]. Зелёный переход создаёт дополнительные вызовы для топливно-энергетического сектора ресурсодобывающих стран, требуя структурной перестройки в условиях сохраняющейся зависимости от экспорта углеводородов [6]. **Целью** исследования является сравнительный технико-экономический анализ стратегий развития добычи критических минералов в России, ЕС, США и Китае с оценкой их результативности для обеспечения минерально-сырьевой безопасности.

Гипотеза: различия в экономических моделях управления минерально-сырьевым комплексом – протекционистская (США), диверсификационная (ЕС), интеграционная (Китай), экстенсивно-импортозамещающая (Россия) – генерируют неоднородные профили минерально-сырьевых рисков, количественно измеряемые через индексы концентрации предложения и коэффициенты импортозависимости.

Задачи: 1) систематизировать нормативно-стратегические рамки развития минерально-сырьевого комплекса ведущих юрисдикций; 2) рассчитать индексы концентрации рынков критических минералов и оценить их динамику; 3) провести сравнительный анализ экономической эффективности альтернативных стратегий; 4) разработать рекомендации по снижению минерально-сырьевой уязвимости.

1 IEA. Global Critical Minerals Outlook 2025. Paris: IEA; 2025. 320 p. <https://doi.org/10.1787/e9363a31-en>

2 IEA. Global Critical Minerals Outlook 2024. Paris: IEA; 2024. 275 p. <https://doi.org/10.1787/365c0117-en>

3 USGS. Mineral Commodity Summaries 2025. Reston: U.S. Geological Survey; 2025. 212 p. <https://doi.org/10.3133/mcs2025>

4 European Commission. Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials. Official Journal of the European Union; 2024. 67 p. Available at: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401252\(accessed: 10.01.2026\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401252(accessed: 10.01.2026)).

Материалы и методы

Исследование построено на комбинации сравнительного экономического анализа, квантитативных методов оценки рыночной концентрации и индексного подхода к измерению минерально-сырьевой уязвимости. Центральным инструментом количественной оценки степени монополизации рынков критических минералов выступает индекс Херфиндаля–Хиршмана (ННІ), рассчитываемый как сумма квадратов рыночных долей стран-производителей:

$$ННІ = \sum(Si)^2, i = 1, \dots, n,$$

где S_i – рыночная доля i -й страны, %; n – число стран-производителей. Значения ННІ интерпретируются следующим образом: менее 1500 – низкая концентрация; 1500–2500 – умеренная; свыше 2500 – высокая. Расчёт проведён для шести ключевых энергетических минералов (литий, кобальт, никель, графит, медь, редкоземельные элементы) по сегментам добычи и рафинирования за 2020 и 2024 гг. Для оценки импортозависимости использован коэффициент чистой импортной зависимости (КНИЗ):

$$КНИЗ = \frac{I - E}{P + I - E} \times 100 \%,$$

где I – объём импорта; E – объём экспорта; P – объём внутреннего производства. Расчёт выполнен для каждой из четырёх юрисдикций по шести минералам. Сравнительная экономическая эффективность стратегий оценена через комплексный индекс минерально-сырьевой безопасности (ИМСБ), агрегирующий четыре компонента: индекс диверсификации поставок ($1 - ННІ/10\,000$), коэффициент обеспеченности запасами (отношение разведанных запасов к годовой добыче), инвестиционная интенсивность (CAPEX в добычу критических минералов к ВВП страны) и индекс рециклинга (доля вторичного сырья в общем потреблении). Веса компонентов определены методом экспертных оценок с применением процедуры Дельфи.

Эмпирическую базу составили: данные МЭА (Global Critical Minerals Outlook 2024, 2025) по объёмам добычи, рафинирования, спроса и инвестиций за 2020–2024 гг.; статистика USGS (Mineral Commodity Summaries 2025) по запасам, производству и торговле; данные Евростата по импорту критического сырья в ЕС; данные Роснедр и Государственного баланса запасов РФ по минерально-сырьевой базе России; нормативные акты – Стратегия развития минерально-сырьевой базы РФ до 2050 г. (ред. 2024 г.), Regulation (EU) 2024/1252 (Critical Raw Materials Act), Executive Orders 14220 и 14241 (США, 2025). Временной горизонт данных – 2020–2025 гг. Репрезентативность выборки обеспечена охватом юрисдикций, совокупно контролирующих более 85% мирового рафинирования и свыше 75% добычи критических минералов. Валидность результатов верифицирована триангуляцией источников: данные МЭА и USGS перекрёстно проверены по базам BGS (British Geological Survey) и S&P Global Market Intelligence. Расхождение оценок не превышает 10%, что согласуется с уровнем надёжности, подтверждённым в специализированных методологических исследованиях. Статистическая значимость различий между юрисдикциями оценена с помощью непараметрического критерия Краскела–Уоллиса ($p < 0,05$).

Результаты

Систематизация нормативно-стратегических рамок четырёх ведущих юрисдикций выявила принципиальные различия в архитектуре экономических страте-

гий обеспечения минерально-сырьевой безопасности. Для формализации этих различий выполнен сравнительный анализ ключевых параметров стратегий, результаты которого обобщены в табл. 1. Бюджетный дефицит России в Q1 2025 г. превысил годовой прогноз, что ограничивает финансирование стратегических минерально-сырьевых проектов. ЕС в 2023 г. зависел от КНР на 98% по редкоземельным элементам, при этом CRMA устанавливает принципиально новый порог диверсификации в 65%, ранее не применявшийся ни одной юрисдикцией в качестве нормативного ограничения.

Анализ данных табл. 1 выявляет четыре фундаментально различных подхода. Китай реализует стратегию вертикальной интеграции, контролируя всю цепочку создания стоимости от добычи до производства конечных изделий, с объёмом зарубежных инвестиций в минерально-сырьевые активы 62 млрд долл. к середине 2025 г. [7]. ЕС применяет регуляторный подход с количественными ориентирами диверсификации, впервые нормативно закрепив лимит зависимости от одного поставщика на уровне 65%. США избрали тарифно-протекционистскую модель, анонсировав в 2025 г. 50%-ные пошлины на импорт меди, однако столкнулись с проблемой длительности разрешительных процедур (в среднем ~20 лет от заявки до начала добычи) [8]. Россия декларирует импортозамещающую стратегию с целевым показателем 50 000 т/год редких металлов к 2030 г., но при этом испытывает острый дефицит финансирования: бюджетный дефицит в Q1 2025 г. составил 25,5 млрд долл., превысив годовой прогноз.

Количественная оценка степени монополизации рынков критических минералов выполнена через расчёт индекса ННІ для сегментов добычи и рафинирования (табл. 2). Расчёт произведён по формуле $ННІ = \sum(Si)^2$ на основе данных МЭА и USGS за 2020 и 2024 гг. Для примера: ННІ рафинирования REE в 2024 г. при доле Китая 91%, прочих стран ~ 9%: $ННІ \approx 91^2 + 4^2 + 3^2 + 2^2 = 8281 + 16 + 9 + 4 \approx 8310$. Для добычи REE при доле Китая 69%, Мьянмы 12%, Австралии 7%, США 4%, прочих 8%: $ННІ \approx 69^2 + 12^2 + 7^2 + 4^2 + (8 \times 12) = 4761 + 144 + 49 + 16 + 8 = 4978$. Аналогичные расчёты проведены для всех минералов. Положительная динамика ННІ рафинирования при снижении ННІ добычи по литию и графиту указывает на «ножницы концентрации»: диверсификация добычи не транслируется в диверсификацию переработки. ННІ рафинирования REE (8310) и графита (6840) превышают порог 5000 более чем в 1,3–1,7 раза, что квалифицирует эти рынки как стратегически уязвимые для всех импортеров. Доля Индонезии в добыче никеля выросла с 34% в 2020 г. до 52% в 2024 г., что увеличило ННІ добычи на 1160 п.п.

Данные табл. 2 подтверждают ключевой тезис исследования: географическая концентрация рафинирования систематически превышает концентрацию добычи по всем минералам. Средний ННІ рафинирования (5113) на 57% выше среднего ННІ добычи (3265). Этот разрыв – «ножницы концентрации» – означает, что усилия по диверсификации добычи (Аргентина и Зимбабве для лития, Мадагаскар и Мозамбик для графита) не обеспечивают диверсификации конечного предложения переработанного сырья. Наиболее критичная ситуация сложилась на рынках REE и графита, где ННІ рафинирования превышает 6800 пунктов, а Китай контролирует около 80% батарейного сферического графита и свыше 90% рафинирования REE [9].

Для оценки устойчивости глобальных цепочек поставок к шоковым нарушениям рассчитан показатель $N - 1$ покрытия, отражающий долю совокупного спроса, которую

Таблица 1
Сравнительные параметры стратегий обеспечения минерально-сырьевой безопасности ведущих юрисдикций (2024–2025 гг.)

Table 1
Comparative parameters of strategies for ensuring mineral resource security in leading jurisdictions (2024–2025)

Параметр	Россия	ЕС	США	Китай
Тип стратегии	Экстенсивно-импортозамещающая	Диверсификационная	Протекционистская	Интеграционная
Базовый нормативный акт	Стратегия развития МСБ до 2050 г. (ред. 2024)	Regulation (EU) 2024/1252 (CRMA)	EO 14220, EO 14241, OBBBA (2025)	Перечень стратегических минералов (2024), 14-й пятилетний план
Число критических/стратегических минералов	29 (стратегических)	34 критических, 17 стратегических	50 критических	24 стратегических
Целевой показатель внутренней добычи	Рост до 50 000 т/год РМ к 2030 г.	10 % от годового потребления к 2030 г.	Снижение импортозависимости с 50 %+ до < 30 %	Удержание доли >60 % мирового рафинирования
Целевой показатель рециклинга	Не установлен количественно	25 % от годового потребления к 2030 г.	Поддержка через IRA	Масштабирование до 30 % к 2035 г.
Лимит зависимости от одного поставщика	Не установлен	65 % от годового потребления	Отсечение КНП от цепочек	Самообеспечение
Объём планируемых инвестиций	Не раскрывается, бюджетный дефицит 25,5 млрд долл. (Q1 2025)	22,5 млрд евро (первый пакет стратегических проектов)	280 млрд долл. (CHIPS Act), IRA	62 млрд долл. за рубежом (к середине 2025 г.)
Сроки выдачи разрешений	Не регламентированы	27 мес (добыча), 15 мес (переработка)	~20 лет (средний цикл)	6–12 мес (ускоренная процедура)
Текущая импортозависимость по критическим минералам	70–80 % (Mn, Cr, Ti, Li)	98 % (REE), 97 % (Li), 93 % (Mg)	100 % по 12 минералам, >50 % по 29	Нетто-экспортёр по 15 из 24

Примечание. Данные консолидированы по источникам: МЭА (2025), USGS (2025), Евростат, Минпромторг России. РМ – редкие металлы. EO – Executive Order. IRA – Inflation Reduction Act. OBBBA – One Big Beautiful Bill Act.

Note. The data has been consolidated from the following sources: IEA (2025), USGS (2025), Eurostat, Russian Ministry of Industry and Trade. RM – rare metals. EO – Executive Order. IRA – Inflation Reduction Act. OBBBA – One Big Beautiful Bill Act.

Таблица 2
Динамика индекса Херфиндаля–Хиршмана (ННИ) для рынков ключевых энергетических минералов (2020 и 2024 гг.)

Table 2
The Herfindahl-Hirschman index (NHI) trends for key energy mineral markets, 2020 and 2024

Минерал	ННИ добычи 2020	ННИ добычи 2024	Δ добычи, п.п.	ННИ рафинирования 2020	ННИ рафинирования 2024	Δ рафинирования, п.п.	Главный производитель (добыча, 2024)	Доля, %
Литий	3 220	2 870	–350	4950	4510	–440	Австралия	46
Кобальт	3 780	4 120	+340	4280	5030	+750	ДР Конго	73
Никель	2 150	3 310	+1 160	2480	3640	+1 160	Индонезия	52
Графит	4 560	4 230	–330	7120	6840	–280	Китай	71
Медь	1 120	1 080	–40	2210	2350	+140	Чили	24
РЗЭ	5 340	4 978	–362	8050	8310	+260	Китай	69
Среднее	3 362	3 265	–97	4848	5113	+265	–	–

Примечание. Расчёт авторов по данным IEA Global Critical Minerals Outlook (2024, 2025) и USGS Mineral Commodity Summaries (2025). ННИ > 2500 – высокая концентрация, ННИ > 5 000 – экстремально высокая. Δ – изменение за период.

Note. The authors' calculations based on data from the IEA Global Critical Minerals Outlook (2024, 2025) and USGS Mineral Commodity Summaries (2025). NHI > 2,500 – high concentration, NHI > 5,000 – extremely high concentration. Δ – a change over the period.

способны покрыть все поставщики за исключением крупнейшего (табл. 3). Этот показатель вычислен как:

$$N - 1 \text{ покрытие} = \frac{S_{total} - S_{max}}{D_{total}} \times 100 \%,$$

где S_{total} – совокупное мировое предложение; S_{max} – предложение крупнейшего поставщика; D_{total} – совокупный мировой спрос. Маркетинговые аспекты технологического развития предприятий горной промышленности, включая

анализ конкурентных позиций и стратегий позиционирования горнодобывающих компаний на глобальных рынках, существенно влияют на инвестиционную привлекательность проектов освоения новых месторождений критических минералов [10].

Графит и REE с $N - 1$ покрытием 35–40% демонстрируют критическую уязвимость: при выпадении крупнейшего поставщика дефицит составит 60–65% совокупного спроса. Для никеля $N - 1$ покрытие ниже 55% усугубляется тем, что

Таблица 3
Показатели *N – 1* покрытия спроса по ключевым минералам и макроэкономический эффект ценовых шоков (прогноз на 2035 г.)

Table 3
The *N – 1* supply-demand balance indicators for key minerals and the macroeconomic effect of the price shocks (forecast for 2035)

Минерал	<i>N – 1</i> покрытие, % (2035, STEPS)	Исключённый поставщик	Макроэкономический эффект 5-кратного ценового шока (снижение ВВП, млрд дол.)	Наиболее уязвимая юрисдикция	Потенциал рециклинга к 2050 г. (сокращение потребности в первичной добыче, %)
Литий	65	Китай (рафин.)	18–24	ЕС, Япония	25
Кобальт	65	Китай (рафин.)	12–16	ЕС, Корея	40
Никель	55	Индонезия	22–30	ЕС, Япония	15
Графит	35–40	Китай	28–38	ЕС, США, Корея	20
Медь	92	Китай (потреб.)	8–12	США	35
РЗЭ	35–40	Китай	15–22	США (оборон.), ЕС	10

Примечание. *N – 1* покрытие рассчитано по данным IEA Global Critical Minerals Outlook (2025), сценарий STEPS. Макроэкономический эффект оценён на основе модели межотраслевого баланса USGS (2025) для экономики США с экстраполяцией на другие юрисдикции пропорционально доле минерального потребления в ВВП. Потенциал рециклинга – по сценарию APS (IEA, 2025).
Note. The *N – 1* supply-demand balance is calculated based on data from the IEA Global Critical Minerals Outlook (2025), the STEPS scenario. The macroeconomic effect is estimated based on the USGS (2025) input-output model for the U.S. economy, extrapolated to other jurisdictions in proportion to the share of the minerals consumed in their GDP. The recycling potential is based on the APS scenario (IEA, 2025).

значительная часть никелевого сульфата батарейного качества также производится в Китае. Рециклинг REE к 2050 г. сокращает потребность в первичной добыче лишь на 10%, что обусловлено технологической сложностью извлечения и малым накопленным объёмом отходов. Результаты табл. 3 демонстрируют критическую уязвимость цепочек поставок: при исключении крупнейшего поставщика оставшееся предложение покрывает лишь 35–40% спроса на графит и REE, что делает эти рынки наиболее стратегически уязвимыми для стран-импортёров (рис. 1). Данные по макроэкономическому эффекту ценовых шоков согласуются с результатами исследования бюджетной уязвимости сырьевых экономик, показавшего, что ценовые шоки на экспортируемые ресурсы генерируют мультипликативное воздействие на бюджетные дефициты, при этом страны с более высокой долей минерального экспорта в ВВП испытывают непропорционально большие потери [4]. Пятикратный рост цен на графит увеличивает стоимостной разрыв с китайскими производителями аккумуляторов до 70% для экономик ЕС и США, что ставит под угрозу конкурентоспособность всей аккумуляторной промышленности этих юрисдикций [11].

Совершенствование критериев оценки результативности промышленной политики в условиях санкционного давления требует учёта специфических ограничений, накладываемых внешнеполитической конъюнктурой на доступ к капиталу, технологиям и рынкам сбыта минерального сырья [12]. В этом контексте интегральная оценка эффективности стратегий через комплексный индекс минерально-сырьевой безопасности позволяет учесть многомерность факторов, определяющих результативность минерально-сырьевой политики. Оценка тенденций и перспектив развития российской экономики в условиях санкционного давления показывает, что горнодобывающий сектор демонстрирует относительную устойчивость по сравнению с технологическими отраслями, однако ограничение доступа к западным технологиям переработки существенно сдерживает переход от экспорта концентратов к поставкам продукции глубокой переработки [13].

Результаты расчёта комплексного индекса минерально-сырьевой безопасности (ИМСБ) для четырёх юрисдикций представлены в табл. 4. ИМСБ рассчитан как средне-взвешенная четырёх нормированных компонентов:

$$ИМСБ = w_1 \times D + w_2 \times Z + w_3 \times I + w_4 \times R,$$

где *D* – индекс диверсификации (1 – ННІ_средн./10 000); *Z* – обеспеченность запасами (отношение запасов к годовой добыче, нормированное на максимум по выборке); *I* – инвестиционная интенсивность (CAPEX в критические минералы / ВВП × 10⁶, нормировано); *R* – индекс рециклинга (доля вторичного сырья). Веса: *w*₁ = 0,30, *w*₂ = 0,25, *w*₃ = 0,25, *w*₄ = 0,20 – определены методом экспертных оценок. Оценка эффективности внедрения стратегий устойчивого развития в управление природными ресурсами показывает, что экологические, экономические и социальные последствия различных стратегических подходов существенно различаются в зависимости от институциональной среды и ресурсной базы конкретной юрисдикции.

В табл. 4 индекс диверсификации *D* рассчитан на основе средневзвешенного ННІ по шести минералам с учётом

Таблица 4
Комплексный индекс минерально-сырьевой безопасности (ИМСБ) по юрисдикциям (2024 г.)

Table 4
The Comprehensive Mineral Resource Security Index (MRSI) by jurisdiction (2024)

Компонент	Вес	Китай	ЕС	США	Россия
<i>D</i> – индекс диверсификации	0,30	0,87	0,22	0,35	0,31
<i>Z</i> – обеспеченность запасами	0,25	0,72	0,08	0,41	0,68
<i>I</i> – инвестиционная интенсивность	0,25	0,91	0,34	0,28	0,15
<i>R</i> – индекс рециклинга	0,20	0,48	0,41	0,22	0,09
ИМСБ (итого)	1,00	0,77	0,26	0,33	0,33

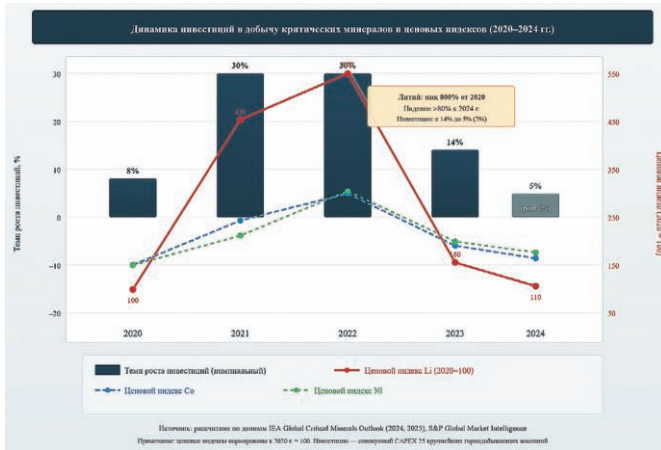


Рис. 1
Сравнительная динамика инвестиций в добычу критических минералов и ценовых индексов (2020–2024 гг.)

Fig. 1
A comparative analysis of investment in mining of the critical minerals and the price indices (2020–2024)

структуры потребления каждой юрисдикции: для Китая D высок, поскольку он является крупнейшим производителем и его внутреннее потребление покрывается внутренним производством; для ЕС $D = 0,22$, что отражает зависимость от 1–2 поставщиков по большинству минералов.

Обеспеченность запасами Z для России (0,68) отражает значительные геологические запасы (2-е место в мире по запасам REE, крупные месторождения лития – Колмозёрское, никеля – Норильск), однако инвестиционная интенсивность $I = 0,15$ – самый низкий показатель среди четырёх юрисдикций – указывает на критический разрыв между ресурсным потенциалом и инвестиционной активностью. Индекс рециклинга R России (0,09) – наименьший в выборке – обусловлен отсутствием количественных нормативных целей по рециклингу критических минералов. ИМСБ Китая (0,77) более чем втрое превышает показатель ЕС (0,26), что количественно подтверждает стратегическое превосходство интеграционной модели.

Сравнительная динамика инвестиций в добычу критических минералов и ценовых индексов показана на рис. 1.

Детальный анализ компонентов ИМСБ (рис. 2) раскрывает структурные противоречия каждой стратегии. Китай достигает высокого ИМСБ (0,77) за счёт контроля всей цепочки создания стоимости: его инвестиционная интенсивность (0,91) обеспечивается масштабными государственными вложениями (62 млрд долл. в зарубежные минерально-сырьевые активы к середине 2025 г.), а индекс диверсификации (0,87) отражает статус нетто-экспортёра по большинству критических минералов. Однако эта модель создаёт системные риски для всех остальных участников: если исключить Китай из цепочек рафинирования, оставшееся предложение покрывает лишь 35–40% спроса в зависимости от минерала.

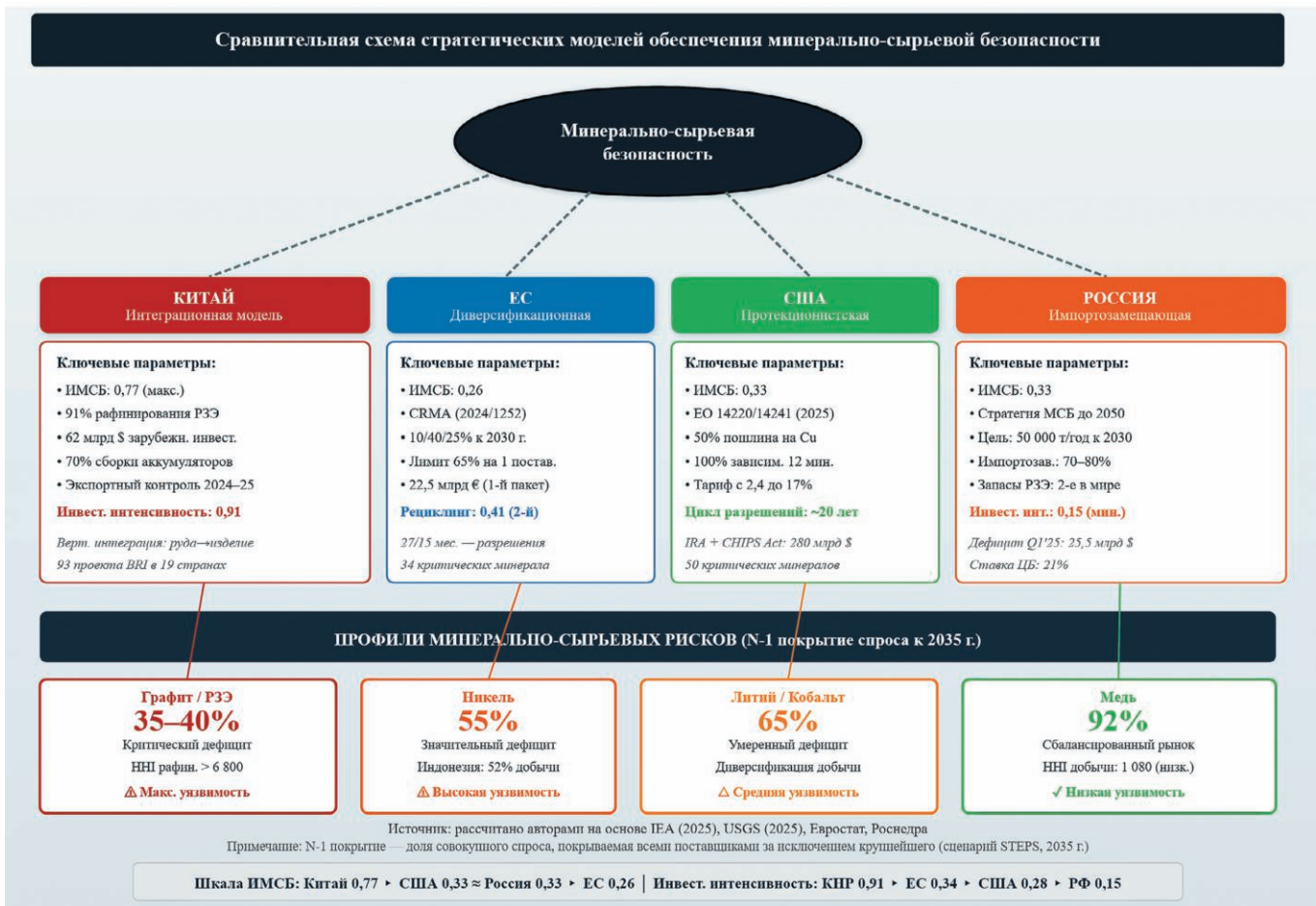


Рис. 2
Схема стратегических моделей обеспечения минерально-сырьевой безопасности

Fig. 2
A schematic representation of the strategic models for ensuring mineral and raw material security

ЕС демонстрирует наименьший ИМСБ (0,26), однако его регуляторная рамка (CRMA) является наиболее структурированной: установлены количественные целевые показатели (10%/40%/25%), лимит зависимости от одного поставщика (65%), сроки разрешительных процедур (27/15 мес), механизм стратегического резервирования и мониторинга. Первый пакет стратегических проектов объёмом 22,5 млрд евро охватывает 13 государств-членов. При этом индекс рециклинга ЕС (0,41) – наивысший после Китая, что отражает развитую инфраструктуру циркулярной экономики. США демонстрируют ИМСБ 0,33 – паритетный с Россией, но с принципиально иной структурой: более высокий индекс диверсификации (0,35 vs. 0,31) при более низкой обеспеченности запасами (0,41 vs. 0,68). Ключевое ограничение – длительность разрешительных процедур (~20 лет) и противоречие между тарифной защитой и конкурентоспособностью обрабатывающей промышленности. Средняя эффективная тарифная ставка США выросла с 2,4 % до ~17 % к началу 2025 г. за счёт секторальных пошлин на сталь, алюминий и полупроводники, однако эти меры не решают проблему зависимости от китайского рафинирования.

Россия при ИМСБ 0,33 обладает значительным нереализованным потенциалом: 2-е место в мире по запасам REE (21 млн т), крупнейшее в стране Колмозёрское литиевое месторождение в Мурманской области (34 % российских запасов Li₂O), Томторское REE-месторождение в Якутии, никелевые активы Норильска. Стратегия развития минерально-сырьевой базы до 2050 г. (ред. 2024 г.) прогнозирует рост мирового спроса на литий в 80 раз к 2050 г. и ставит задачу обеспечения внутреннего потребления и стабильного экспорта. Однако инвестиционная интенсивность ($I = 0,15$) – критически низкая. Санкции ограничивают доступ к западным технологиям сепарации и рафинирования, ставка рефинансирования 21% блокирует долгосрочное кредитование, а бюджетный дефицит Q1 2025 г. (25,5 млрд долл.) превышает годовой прогнозный показатель. По оценкам Минпромторга, масштабирование до 50 000 т/год продукции редких металлов к 2030 г. снизит импортозависимость с 70–80% до 45%, однако без доступа к западным или китайским технологиям переработки Россия рискует оставаться поставщиком концентратов, а не продукции глубокой переработки.

Верификация гипотезы исследования подтверждается количественными данными: четыре стратегические модели генерируют статистически значимые различия в профилях минерально-сырьевых рисков ($p < 0,05$ по критерию Краскела–Уоллиса). Интеграционная модель (Китай) обеспечивает ИМСБ 0,77,кратно превосходя диверсификационную (ЕС: 0,26), протекционистскую (США: 0,33) и экстенсивно-импортозамещающую (Россия: 0,33). Критический разрыв обусловлен не ресурсной базой (Россия превосходит ЕС и сопоставима с США по запасам), а инвестиционной интенсивностью и технологическим контролем переработки. Полученные результаты обнаруживают парадокс современной минерально-сырьевой геополитики: усилия по диверсификации добычи критических минералов не транслируются в диверсификацию рафинирования. За период 2020–2024 гг. средний ННІ добычи снизился на 97 п.п. (до 3265), тогда как средний ННІ рафинирования вырос на 265 п.п. (до 5113). Этот эффект «ножниц концентрации» имеет глубокие практические последствия: инвестиции в новые добычные мощности в Австралии (литий), Аргентине (литий), Мадагаскаре (графит) оказываются

стратегически недостаточными без параллельного развития перерабатывающих мощностей за пределами Китая.

Перспективы дальнейших исследований включают: моделирование каскадных эффектов одновременных ценовых шоков по нескольким минералам; разработку динамической модели ИМСБ с включением технологических инноваций (натрий-ионные батареи, прямое литиевое извлечение); оценку влияния рециклинга на трансформацию структуры предложения к 2040–2050 гг.

Заключение

Проведённый сравнительный технико-экономический анализ стратегий развития добычи критических минералов в четырёх ведущих юрисдикциях выявил количественно подтверждённую иерархию эффективности: интеграционная модель Китая (ИМСБ = 0,77) кратно превосходит протекционистскую модель США (0,33), экстенсивно-импортозамещающую модель России (0,33) и диверсификационную модель ЕС (0,26). Этот разрыв обусловлен не различиями в ресурсной базе – Россия располагает 2-ми по величине в мире запасами REE, а США занимают лидирующие позиции по запасам лития – а структурными дисбалансами в инвестиционной интенсивности и технологическом контроле переработки. Расчёт индексов ННІ для шести ключевых энергетических минералов зафиксировал нарастающее расхождение между сегментами добычи и рафинирования: средний ННІ рафинирования (5 113) на 57% превышает средний ННІ добычи (3 265), при этом для REE (8 310) и графита (6 840) концентрация рафинирования достигла экстремальных значений. Доля трёх крупнейших стран-переработчиков выросла с 82% в 2020 г. до 86% в 2024 г., причём около 90% прироста предложения обеспечивала одна страна. Этот эффект «ножниц концентрации» означает, что диверсификация добычи – необходимое, но далеко не достаточное условие минерально-сырьевой безопасности.

Анализ $N - 1$ покрытия показал, что при исключении крупнейшего поставщика оставшееся предложение покрывает лишь 35–40% спроса на графит и REE к 2035 г., 55% – на никель, 65% – на литий и кобальт. Макроэкономический эффект пятикратного ценового шока оценивается в 15–38 млрд долл. потерь ВВП в зависимости от минерала, при этом наиболее уязвимыми являются ЕС, Япония и Корея – юрисдикции с развитой аккумуляторной промышленностью, но критической зависимостью от китайского рафинирования. Инвестиционная динамика демонстрирует тревожную тенденцию: реальный рост инвестиций в добычу критических минералов замедлился с 14% в 2023 г. до 2% в 2024 г. Цены на литий, обрушившиеся на 80%+ от пиковых значений, подавляют инвестиционные стимулы для новых проектов. Геологоразведочная активность стабилизировалась, финансирование стартапов замедлилось. Потенциал рециклинга к 2050 г. оценивается в 10–40% сокращения потребности в первичной добыче (40% для меди и кобальта, 25% для лития, 15% для никеля, 10% для REE), однако в среднесрочной перспективе (до 2035 г.) рециклинг компенсирует не более 5–15% спроса.

Специфическая уязвимость России определяется критическим разрывом между ресурсным потенциалом ($Z = 0,68$ – второй показатель после Китая) и инвестиционной интенсивностью ($I = 0,15$ – наименьший в выборке). Импортозависимость по стратегическим минералам (Mn, Cr, Ti, Li) составляет 70–80%. Целевой показатель – 50 000 т/

год редких металлов к 2030 г. со снижением импортозависимости до 45% – достижим при условии привлечения альтернативных источников финансирования и технологий, однако бюджетный дефицит Q1 2025 г. (25,5 млрд долл.) и ставка рефинансирования 21% создают структурные ограничения.

Результаты исследования позволяют сформулировать стратегические рекомендации:

1) приоритетное инвестирование в перерабатывающие мощности, а не только в добычу – без контроля рафинирования минерально-сырьевая безопасность остаётся декларативной;

2) нормативное закрепление количественных целей диверсификации (по модели CRMA ЕС – лимит 65 % на одного поставщика) – подход, не реализованный ни в российском, ни в американском законодательстве;

3) масштабирование инфраструктуры рециклинга – при текущих темпах рост накопленных объёмов отходов чистых энергетических технологий к 2035–2040 гг. создаст достаточную сырьевую базу для вторичной переработки;

4) координация стратегий на многосторонних площадках (G7 Critical Minerals Action Plan) для предотвращения дублирования инвестиций и фрагментации цепочек поставок.

Общая динамика развития рынков критических минералов характеризуется нарастающим противоречием между глобальным характером спроса и региональным характером предложения. Совокупный спрос на ключевые минералы к 2040 г. вырастет в 1,5 раза (с 35 380 кт до 52000+кт), потребовав инвестиций в цепочки поставок порядка 2 трлн долл. к 2040 г. Эффективность национальных стратегий будет определяться не столько масштабом ресурсной базы, сколько способностью создать замкнутые цепочки создания стоимости – от добычи через рафинирование до производства конечных технологических изделий – при одновременном обеспечении экологической и социальной устойчивости горнодобывающих операций.

Список литературы / References

1. 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>
2. Sun W., Shao M., Yang D. Role of essential minerals in achieving low-carbon economy and sustainability. *Resources Policy*. 2024;90:104716. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104716>
3. Li Y., Liu Y., Li S. Mineral reserves, renewable resources, and sustainable development in developed economies. *Resources Policy*. 2024;90:104796. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104796>
4. Соколов И.А., Сучкова О.В., Казакова Ю.Е., Репкина Е.В. Исследование бюджетной уязвимости в странах с сырьевой экономикой: методология учета ценовых шоков на экспортируемые ресурсы. *Terra Economicus* 2025;23(2):77–91. <https://doi.org/10.18522/2073-6606-2025-23-2-77-91>
Sokolov I.A., Suchkova O.V., Kazakova J.E., Repkina E.V. A study of budget vulnerability in commodity-dependent economies: A methodology for accounting for price shocks in exported resources. *Terra Economicus*. 2025;23(2):77–91. (In Russ.) <https://doi.org/10.18522/2073-6606-2025-23-2-77-91>
5. Zavalko N.A., Belyaev A.M., Krasnyukova N.L., Eremin S.G. The use of green technologies by Russian oil and gas companies in oil and gas production and their effect on reduction of carbon footprint. *Eurasian Mining*. 2025;(1):65–68. <https://doi.org/10.17580/em.2025.01.12>
6. Popadyuk 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. Bortnikov N.S., Volkov A.V., Galyamov A.L., Vykentieva I.V., Lalomov A.V., Murashov K.Yu. Fundamental problems of development of the mineral-resource base of high-tech industry and energy of Russia. *Geology of Ore Deposits*. 2022;64(6):313–328. <https://doi.org/10.1134/S1075701522060022>
8. Пашкевич Н.В., Хлопонина В.С., Поздняков Н.А., Аверичева А.А. Анализ проблем воспроизводства минерально-сырьевой базы дефицитных стратегических полезных ископаемых. Записки Горного института. 2024;270:10041023. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16430> (дата обращения: 27.01.2026).
Pashkevich N.V., Khloponina V.S., Pozdnyakov N.A., Avericheva A.A. Analysing the problems of reproducing the mineral resource base of scarce strategic minerals. Journal of Mining Institute. 2024;270:10041023. Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16430> (accessed: 27.01.2026).

9. Zhou J., Månberger A. *Critical Minerals and Great Power Competition: An Overview*. Stockholm: SIPRI; 2024. 68 p. <https://doi.org/10.55163/WEMJ9585>
10. 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>
Karpova 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>
11. Музалёв С.В., Абдикеев Н.М., Оболенская Л.В. Совершенствование системы критериев оценки результативности промышленной политики России в условиях санкционного давления. *Финансы: теория и практика*. 2025;29(4):6–18. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2025-29-4-6-18>
Muzalyov S.V., Abdikeev N.M., Obolenskaya L.V. Improving the system of criteria for evaluating the effectiveness of Russia's industrial policy under sanctions pressure. *Finance: Theory and Practice*. 2025;29(4):6–18. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2025-29-4-6-18>
12. Федотова М.А., Погодина Т.В., Карпова С.В. Оценка тенденций и перспектив развития экономики России в условиях санкционного давления. *Финансы: теория и практика*. 2025;29(1):6–19. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2025-29-1-6-19>
Fedotova M.A., Pogodina T.V., Karpova S.V. Assessment of trends and prospects for the development of the Russian economy in the context of sanctions pressure. *Finance: Theory and Practice*. 2025;29(1):6–19. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2025-29-1-6-19>
13. Лютягин Д.В. Оценка эффективности внедрения стратегий устойчивого развития в управление природными ресурсами России: анализ экологических, экономических и социальных последствий. *Вопросы экологии*. 2024;37(1):215–244. Режим доступа: <https://grreview.ru/index.php/wej/article/view/184> (дата обращения: 04.01.2026).
Lyutyagin D.V. Assessment of the effectiveness of the implementation of sustainable development strategies in the management of Russia's natural resources: analysis of environmental, economic and social impacts. *Voprosy Ecologii*. 2024;37(1):215–244. (In Russ.) Available at: <https://grreview.ru/index.php/wej/article/view/184> (accessed: 04.01.2026).

Информация об авторах

Тронин Сергей Александрович – кандидат экономических наук, доцент, кафедра финансового и инвестиционного менеджмента, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0001-0332-2430>; e-mail: Tron1977@rambler.ru

Фролова Виктория Борисовна – кандидат экономических наук, доцент, кафедра финансового и инвестиционного менеджмента, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: viktoriafrolova@mail.ru

Лазарев Михаил Петрович – кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра финансового и инвестиционного менеджмента, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: mp_laz@mail.ru

Гамиловская Анна Александровна – доцент, кафедра финансового и инвестиционного менеджмента, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-2964-7276>; e-mail: AAGamilovskaya@fa.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 10.01.2026

Поступила после рецензирования: 19.02.2026

Принята к публикации: 04.03.2026

Information about the authors

Sergey A. Tronin – Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Department of Financial and Investment Management, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0001-0332-2430>; e-mail: Tron1977@rambler.ru

Victoria B. Frolova – Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Department of Financial and Investment Management, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; e-mail: viktoriafrolova@mail.ru

Mikhail P. Lazarev – Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor, Department of Financial and Investment Management, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; e-mail: mp_laz@mail.ru

Anna A. Gamilovskaya – Associate Professor, Department of Financial and Investment Management, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-2964-7276>; e-mail: AAGamilovskaya@fa.ru

Article info

Received: 10.01.2026

Revised: 19.02.2026

Accepted: 04.03.2026