

УДК 338.45:622.33(470) © Н.Л. Красюкова✉, Е.И. Москвитина,
Е.И. Воронова, К.В. Харченко, 2026

UDC 338.45:622.33(470) © N.L. Krasjukova✉, E.I. Moskvitina,
E.I. Voronova, K.V. Kharchenko, 2026

ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве
Российской Федерации», 125167, г. Москва, Россия
✉ e-mail: NLKrasjukova@fa.ru

Financial University under the Government of the Russian Federation,
Moscow, 125167, Russian Federation
✉ e-mail: NLKrasjukova@fa.ru

Сценарное прогнозирование развития инновационной экосистемы угольных регионов России в условиях изменения глобальных энергетических рынков и усиления технологических ограничений*

Scenario forecasting of the innovation ecosystem development in Russia's coal regions under changing global energy markets and increasing technological restrictions

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2026-5-123-132>

Исследование посвящено сценарному моделированию трансформации инновационных экосистем угольных регионов Российской Федерации в условиях структурного сдвига глобального энергетического рынка и нарастания внешних технологических ограничений. Цель работы – разработка трехсценарной прогнозной модели развития инновационных экосистем ключевых угольных регионов на период до 2035 г. с учетом параметров экспортной конъюнктуры, инвестиционной активности и диверсификации отраслевой структуры. Методологическую основу составили сценарный анализ, метод аналитических иерархий (МАИ), корреляционно-регрессионный анализ и экспертное оценивание. Эмпирическая база охватывает статистические данные Росстата, Минэнерго России и ЦДУ ТЭК за 2019–2025 гг. по 10 ведущим угледобывающим регионам (суммарная добыча – 443,5 млн т в 2024 г.), дополненные экспертными оценками 28 специалистов отрасли. Рассчитан интегральный индекс инновационной устойчивости (ИИУС), значения которого варьировались от 0,31 (Хакасия) до 0,69 (Якутия). Установлено, что при реализации инерционного сценария к 2035 г. доля инновационной продукции в ВРП угольных регионов не превысит 4,2%, тогда как сценарий активной диверсификации обеспечивает рост до 11,8%. Выявлена нелинейная зависимость между объемом инвестиций

КРАСЮКОВА Н.Л.

Доктор экон. наук, научный сотрудник
НИСП «Институт управленческих
исследований и консалтинга»
Факультета «Высшая школа управления»,
ФГБОУ ВО «Финансовый университет
при Правительстве Российской Федерации»,
125167, г. Москва, Россия,
e-mail: NLKrasjukova@fa.ru

МОСКВИТИНА Е.И.

Канд. экон. наук, научный сотрудник
НИСП «Институт управленческих
исследований и консалтинга»
Факультета «Высшая школа управления»,
ФГБОУ ВО «Финансовый университет
при Правительстве Российской Федерации»,
125167, г. Москва, Россия,
e-mail: EIMoskvitina@fa.ru

* Статья выполнена по результатам прикладной темы научно-исследовательской работы: «Формирование и развитие инновационной экосистемы регионов России», в рамках реализации Государственного задания Правительства РФ Финансовому университету при Правительстве РФ.

ВОРОНОВА Е.И.

Канд. экон. наук, научный сотрудник
НИСП «Институт управленческих
исследований и консалтинга»
Факультета «Высшая школа управления»,
ФГБОУ ВО «Финансовый университет
при Правительстве Российской Федерации»,
125167, г. Москва, Россия,
e-mail: EIShayuk@fa.ru

ХАРЧЕНКО К.В.

Канд. социол. наук, научный сотрудник
НИСП «Институт управленческих
исследований и консалтинга»
Факультета «Высшая школа управления»,
ФГБОУ ВО «Финансовый университет
при Правительстве Российской Федерации»,
125167, г. Москва, Россия,
e-mail: KVKharchenko@fa.ru

в НИОКР и динамикой инновационного индекса ($R^2 = 0,74$). Доля убыточных предприятий отрасли достигла 53,3% в 2024 г., что формирует критический уровень ресурсного дефицита для инновационного развития. Результаты обосновывают необходимость перехода от линейной модели поддержки угольной отрасли к экосистемному подходу, интегрирующему углехимию, цифровые технологии и программы переквалификации кадров. Практическая значимость определяется возможностью использования разработанных сценариев при корректировке Программы развития угольной промышленности России до 2035 г.

Ключевые слова: инновационная экосистема, угольные регионы, сценарное прогнозирование, диверсификация экономики, технологические ограничения, энергетический переход, индекс инновационной устойчивости, углехимия.

Для цитирования: Сценарное прогнозирование развития инновационной экосистемы угольных регионов России в условиях изменения глобальных энергетических рынков и усиления технологических ограничений / Н.Л. Красюкова, Е.И. Москвитина, Е.И. Воронова и др. // Уголь. 2026;(5):123-132. DOI: 10.18796/0041-5790-2026-5-123-132.

Abstract

The study focuses on scenario modeling of the innovation ecosystem transformation in the coal regions of the Russian Federation under the structural shift in the global energy market and increasing external technological restrictions. The aim of the study is to develop a three-scenario forecast model for the development of innovation ecosystems in key coal regions for the period up to 2035, taking into account export market conditions, investment activity and diversification of the sectoral structure. The methodological framework includes scenario analysis, the analytic hierarchy process (AHP), correlation-regression analysis, and expert evaluation. The empirical base covers statistical data from Rosstat, the Russian Ministry of Energy, and the Central Dispatch Office of the Fuel and Energy Complex for 2019-2025 across 10 leading coal-mining regions (total production – 443.5 million tonnes in 2024), supplemented by expert assessments from 28 industry specialists. An Integrated Innovation Sustainability Index (IISI) was calculated, with values ranging from 0.31 (Khakassia) to 0.69 (Yakutia). It was established that under the inertial scenario, the share of innovative products in the GRP of coal regions will not exceed 4.2% by 2035, while the active diversification scenario provides growth up to 11.8%. nonlinear relationship between R&D investment volume and innovation index dynamics was identified ($R^2 = 0.74$). The share of unprofitable enterprises in the industry reached 53.3% in 2024, creating a critical level of resource deficit for innovation development. The results justify the need to transition from a linear model of coal industry support to an ecosystem approach integrating coal chemistry, digital technologies, and workforce retraining programs.

Keywords

Innovation ecosystem, coal regions, scenario forecasting, economic diversification, technological restrictions, energy transition, innovation sustainability index, coal chemistry.

Acknowledgements

This article is based on the findings of an applied research project entitled: “Formation and development of an innovative ecosystem in regions of the Russian Federation” conducted as part of the State Assignment issued by the Government of the Russian Federation to the Financial University under the Government of the Russian Federation.

For citation

Krasyukova N.L., Moskvitina E.I., Voronova E.I., Kharchenko K.V. Scenario forecasting of the innovation ecosystem development in Russia's coal regions under changing global energy markets and increasing technological restrictions. *Ugol*. 2026;(5):123-132. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2026-5-123-132.

ВВЕДЕНИЕ

Глобальный спрос на уголь в 2024 г. достиг рекордных 8,8 млрд т, увеличившись на 1,5% относительно 2023 г., однако прирост был обеспечен исключительно развивающимися экономиками Азии при продолжающемся снижении потребления в странах ОЭСР [1]. Согласно сценарию заявленных политик (STEPS) World Energy Outlook 2025, пик мирового спроса на уголь прогнозируется до 2030 г., после чего ожидается устойчивое сокращение, обусловленное замещением угольной генерации возобновляемыми источниками, доля которых в мировом электричестве достигнет 43% к 2030 г. [2]. Эта конъюнктурная развилка порождает фундаментальную неопределенность для ресурсозависимых территорий, чья экономика исторически привязана к добыче и экспорту углеводородного сырья.

Российская угольная отрасль в 2024 г. произвела 443,5 млн т угля (по данным Минэнерго РФ), продемонстрировав прирост в 1,3% к предыдущему году, но экспорт сократился третий год подряд – до 196,2 млн т [3]. Кардинальная переориентация экспортных потоков с запада на восток (доля Китая в экспорте коксующегося угля выросла с 22 до 40% за 2020-2024 гг., Индии – с 4 до 17%) сопровождается падением маржинальности: цены на энергетический уголь FOB в дальневосточных портах в 2024 г. не превышали 110 дол. США/т (по данным Минэнерго РФ), в 2025 г. опустились до кризисных уровней 2019-2020 гг. [4]. Кумулятивное воздействие ценовой коррекции, логистических ограничений пропускной способности Восточного полигона РЖД (загрузка – 97%) [5] и трехлетнего дефицита импортного горного оборудования привело к тому, что доля убыточных угольных предприятий в 2024 г. превысила 53% (по данным Минэнерго РФ).

Технологические санкции, блокирующие доступ к критически важному горношахтному оборудованию из ЕС, США и Японии с 2022 г., трансформировали характер вызовов: от конъюнктурных к структурным. Предприятия вынуждены прибегать к перекомпоновке техники с нескольких объектов для поддержания работоспособности единичных установок, инвестиции в обновление производственного парка составили 284,8 млрд руб. в 2024 г. (+3,6%), однако эффективность их использования снижается [6]. Программа развития угольной промышленности России до 2035 г. предусматривает рост добычи до 485-668 млн т по двум сценариям, но оптимистичный вариант разрабатывался в принципиально иных геоэкономических условиях и нуждается в ревизии [7].

Концепция инновационной экосистемы, в отличие от линейных моделей инновационного процесса, акцентирует нелинейные взаимодействия между участниками – предприятиями, университетами, институтами развития и органами власти – в условиях турбулентной внешней среды [8]. Применительно к угольным регионам экосистемный подход предполагает переход от моноотраслевой зависимости к полицентричной модели, интегрирующей углехимию, цифровые технологии горного производства, рекультивацию территорий и кластеры новых материалов [9]. Анализ международного опыта трансформации угольных территорий (Рурский бассейн,

Аппалачи, Силезия) свидетельствует о 15-25-летнем горизонте системной диверсификации при условии устойчивого финансирования [10].

Цель настоящего исследования – разработка и верификация трехсценарной модели развития инновационных экосистем угольных регионов России на период до 2035 г., позволяющей оценить траектории трансформации при различных комбинациях внешних (мировые цены, санкционный режим) и внутренних (инвестиции в НИОКР, диверсификация ВРП, кадровый потенциал) факторов. Задачи включают: расчет интегрального индекса инновационной устойчивости (ИИУС) для 10 ведущих угольных регионов; построение корреляционно-регрессионных моделей зависимости ИИУС от ключевых параметров; формирование трех сценариев (инерционного, адаптивного, активной диверсификации) с квантификацией критических порогов; выработку практических рекомендаций для корректировки государственной политики [11, 12].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методологическую архитектуру исследования образует комбинация четырех взаимодополняющих подходов: сценарный анализ, метод аналитических иерархий (МАИ), корреляционно-регрессионное моделирование и структурированное экспертное оценивание по модифицированному протоколу Дельфи. Сценарный анализ был избран как инструмент, позволяющий формализовать структурную неопределенность одновременно по нескольким осям – ценовой конъюнктуре, технологической доступности и институциональной среде – и генерировать не точечные прогнозы, а пространство альтернативных траекторий. МАИ использован для построения интегрального индекса инновационной устойчивости (ИИУС) из шести субиндексов, обеспечивающего свертку разнородных показателей с учетом экспертных весов. Корреляционно-регрессионный аппарат применен для выявления и квантификации зависимостей между ИИУС и управляемыми параметрами инновационной политики.

Эмпирическая база сформирована из трех блоков. Первый – панельные данные Росстата, Минэнерго РФ и ЦДУ ТЭК за 2019-2025 гг. по 10 ведущим угледобывающим регионам (Кемеровская обл., Республика Саха (Якутия), Красноярский край, Республика Хакасия, Забайкальский край, Сахалинская обл., Иркутская обл., Хабаровский край, Ростовская обл., Новосибирская обл.), охватывающим совокупно свыше 96% общероссийской добычи угля. Второй – данные экспертного опроса 28 специалистов (представители угольных компаний – 11, региональных администраций – 7, научных организаций – 6, инвестиционных структур – 4), проведенного в формате двухраундового Дельфи в ноябре 2024 – январе 2025 г. Согласованность экспертных оценок контролировалась через коэффициент конкордации Кендалла ($W = 0,72$, $p < 0,01$). Третий – материалы IEA (World Energy Outlook 2025, Coal 2025), аналитических агентств NEFT Research и «Яков и Партнеры», обеспечивающие внешнюю рамку сценарных допущений.

ИИУС рассчитывался как средневзвешенная шести нормированных субиндексов: доля затрат на НИОКР

в ВРП (вес 0,22); доля инновационной продукции в промышленном выпуске (0,20); индекс диверсификации ВРП по Херфиндалю-Хиршману (0,18); обеспеченность кадрами с высшим техническим образованием на 1000 занятых в отрасли (0,15); количество действующих объектов инновационной инфраструктуры на регион (0,13); доля цифровизированных производственных процессов (0,12). Веса получены путем попарного сравнения по протоколу МАИ (индекс согласованности $CI = 0,04$, отношение согласованности $CR = 0,03 < 0,10$). Для оценки зависимостей построена множественная регрессионная модель:

$$ИИУС = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \varepsilon,$$

где X_1 – объем инвестиций в НИОКР (млрд руб., в ценах 2024 г.), X_2 – экспортная цена угля (дол. США/т, FOB Дальний Восток), X_3 – доля несырьевых секторов в ВРП (%), X_4 – индекс технологической доступности (экспертная шкала 0-1), ε – случайная ошибка. Значимость коэффициентов оценивалась по t -критерию Стьюдента ($p < 0,05$), качество модели – по скорректированному R^2 и критерию Фишера. Статистическая обработка выполнена в среде R 4.3.2 с использованием пакетов lm, car, ANP. Формирование сценариев осуществлялось путем варьирования допущений по трем осям неопределенности: глобальная ценовая конъюнктура (базис – прогноз IEA STEPS), режим технологических ограничений (три градации интенсивности) и уровень государственной поддержки диверсификации (1–3% ВРП угольных регионов).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ динамики угледобычи в разрезе ведущих регионов за 2019–2025 гг. выявил выраженную дивергенцию траекторий, кардинально отличающуюся от однородного роста предшествующего десятилетия (табл. 1).

Дивергенция траекторий отражает фундаментальный сдвиг: Кузбасс, обеспечивающий 50% общероссийской добычи, переживает непрерывное падение седьмой год подряд (с пика 255,3 млн т в 2019 г. до прогнозных 191 млн т в 2025 г., –25,2%), тогда как Якутия за тот же период утроила объемы (рис. 1). Этот структурный сдвиг создает принципиально разные условия для формирования инновационных экосистем: в Кузбассе – необходимость диверсификации высвобождающихся ресурсов, в Якутии – потребность в создании инфраструктуры «с нуля» на фоне ресурсного бума.

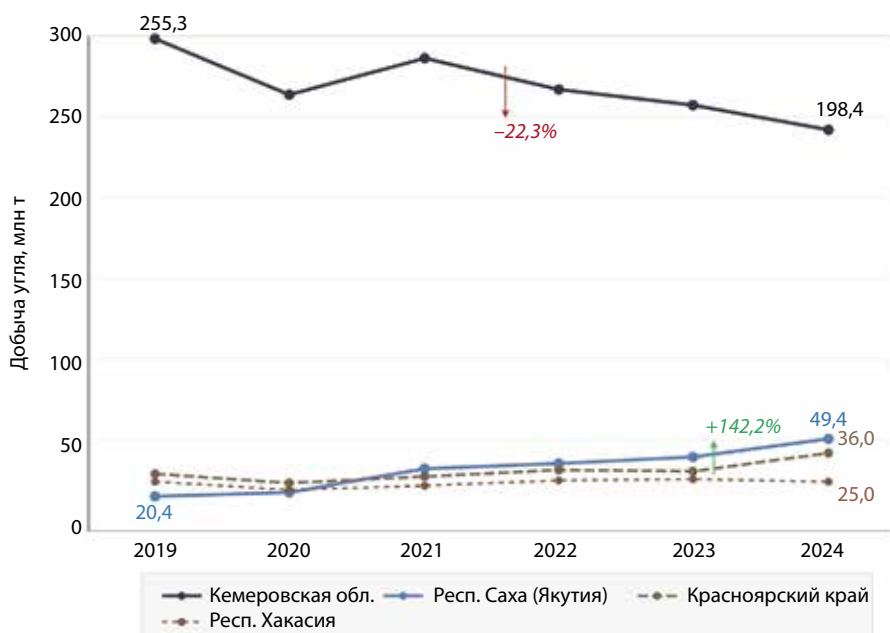


Рис. 1. Дивергенция траекторий угледобычи ключевых регионов России, 2019–2025 гг., млн т

Fig. 1. Divergence of coal production paths in the key regions of the Russian Federation, 2019–2025, million tons

Таблица 1

Динамика угледобычи по ведущим регионам России, 2019–2025 гг., млн т

Coal production trends in the leading regions of the Russian Federation, 2019–2025, million tons

| Регион | 2019 г. | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. | 2023 г. | 2024г. | 2025 г.* | Δ2024/2019, % |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|---------------|
| Кемеровская обл. | 255,3 | 220,7 | 243,1 | 223,4 | 214,0 | 198,4 | 191,0 | –22,3 |
| Республика Саха (Якутия) | 20,4 | 22,5 | 32,3 | 35,1 | 38,6 | 49,4 | 52,0 | +142,2 |
| Красноярский край | 28,4 | 25,8 | 27,9 | 30,1 | 30,0 | 36,0 | 37,0 | +26,8 |
| Республика Хакасия | 24,6 | 21,9 | 24,1 | 26,3 | 26,6 | 25,0 | 24,0 | +1,6 |
| Забайкальский край | 16,8 | 15,2 | 16,0 | 17,2 | 17,5 | 17,9 | 18,2 | +6,5 |
| Сахалинская обл. | 11,2 | 10,4 | 12,1 | 14,5 | 15,0 | 15,4 | 15,5 | +37,5 |
| Иркутская обл. | 12,9 | 11,6 | 12,5 | 13,0 | 13,2 | 13,5 | 13,8 | +4,7 |
| Хабаровский край | 6,1 | 5,8 | 7,0 | 8,5 | 9,5 | 10,4 | 10,8 | +70,5 |
| РФ всего | 441,4 | 401,4 | 438,4 | 443,6 | 438,0 | 443,5 | 440,0 | +0,5 |

Примечание: * – оценка по данным за январь–ноябрь 2025 г. (389 млн т за 11 мес., экстраполяция до годового итога). Источники: Росстат, Минэнерго РФ, расчеты авторов по данным ЦДУ ТЭК. Данные по Кемеровской области 2025 г. рассчитаны на основе снижения на 3,7% за январь–ноябрь (157,6 млн т за 11 мес.). Якутия демонстрирует кумулятивный рост в 142,2%, что объясняется вводом Эльгинского месторождения (прирост до 28 млн т/год к 2024 г.).

Таблица 2

Интегральный индекс инновационной устойчивости (ИИУС) угольных регионов, 2024 г.

The Composite Innovation Sustainability Index (CISI) for the coal-producing regions, 2024

| Регион | НИОКР/ВРП, % | Инновационная продукция, % | НИИ диверсификация | Кадры (‰) | Инфраструктура (ед.) | Цифровизация, % | ИИУС |
|--------------------|--------------|----------------------------|--------------------|-----------|----------------------|-----------------|------|
| Республика Саха | 0,48 | 5,1 | 0,38 | 42 | 12 | 31 | 0,69 |
| Красноярский край | 0,61 | 6,3 | 0,41 | 58 | 18 | 28 | 0,62 |
| Кемеровская обл. | 0,34 | 3,8 | 0,52 | 47 | 22 | 35 | 0,54 |
| Иркутская обл. | 0,29 | 3,2 | 0,44 | 39 | 9 | 22 | 0,48 |
| Сахалинская обл. | 0,22 | 2,7 | 0,36 | 31 | 7 | 25 | 0,45 |
| Забайкальский край | 0,18 | 2,1 | 0,49 | 28 | 6 | 18 | 0,40 |
| Хабаровский край | 0,25 | 2,9 | 0,42 | 35 | 8 | 20 | 0,43 |
| Новосибирская обл. | 0,71 | 7,2 | 0,31 | 72 | 26 | 38 | 0,67 |
| Ростовская обл. | 0,38 | 4,5 | 0,35 | 51 | 15 | 27 | 0,56 |
| Республика Хакасия | 0,15 | 1,8 | 0,55 | 24 | 4 | 15 | 0,31 |

Примечание: НИИ диверсификации – индекс Херфиндаля–Хиршмана по отраслевой структуре ВРП (меньшее значение = более диверсифицированная экономика). Кадры – число специалистов с высшим техническим образованием на 1000 занятых в угольной отрасли и смежных секторах. Инфраструктура – количество объектов инновационной инфраструктуры (технопарки, бизнес-инкубаторы, инжиниринговые центры, центры трансфера технологий). Цифровизация – доля производственных процессов с цифровым управлением в угледобыче и переработке (экспертная оценка). ИИУС рассчитан как средневзвешенная нормированных субиндексов по весам МАИ.

Расчет интегрального индекса инновационной устойчивости (ИИУС) по шести субиндексам для десяти регионов позволил установить существенную межрегиональную дифференциацию (табл. 2).

Парадокс состоит в том, что Якутия, демонстрирующая наиболее высокий ИИУС (0,69), занимает лидирующие позиции не благодаря длительной инновационной традиции, а за счет «эффекта новизны»: масштабные инвестиции Эльгинского проекта создали цифровую инфраструктуру (автономные самосвалы, диспетчерские центры на основе ИИ) одновременно с производственной. Кемеровская область при максимуме инфраструктурных объектов (22) и высоком уровне цифровизации (35%) имеет критически высокий НИИ (0,52), свидетельствующий о моноотраслевой зависимости: уголь формирует 30% ВРП региона. Хакасия с ИИУС 0,31 находится в зоне критической уязвимости: убыток отрасли за 11 месяцев 2024 г. составил 2,6 млрд руб. при прибыли 13,9 млрд годом ранее (рис. 2).

Результаты регрессионного моделирования позволили установить количественные зависимости ИИУС от ключевых факторов (табл. 3).

Скорректированный $R^2 = 0,74$; $F(4, 55) = 42,8$; $p < 0,001$. Мультиколлинеарность контролировалась через VIF (все значения $< 3,2$). Индекс технологической доступности (X_4) оценен экспертами по шкале от 0 (полная блоки-

ровка импорта оборудования) до 1 (свободный доступ); среднее значение для 2024 г. составило 0,38 (против 0,82 в 2021 г.). Переменная X_1 оказывает наибольшее влияние в стандартизированных коэффициентах ($\beta^* = 0,41$), что

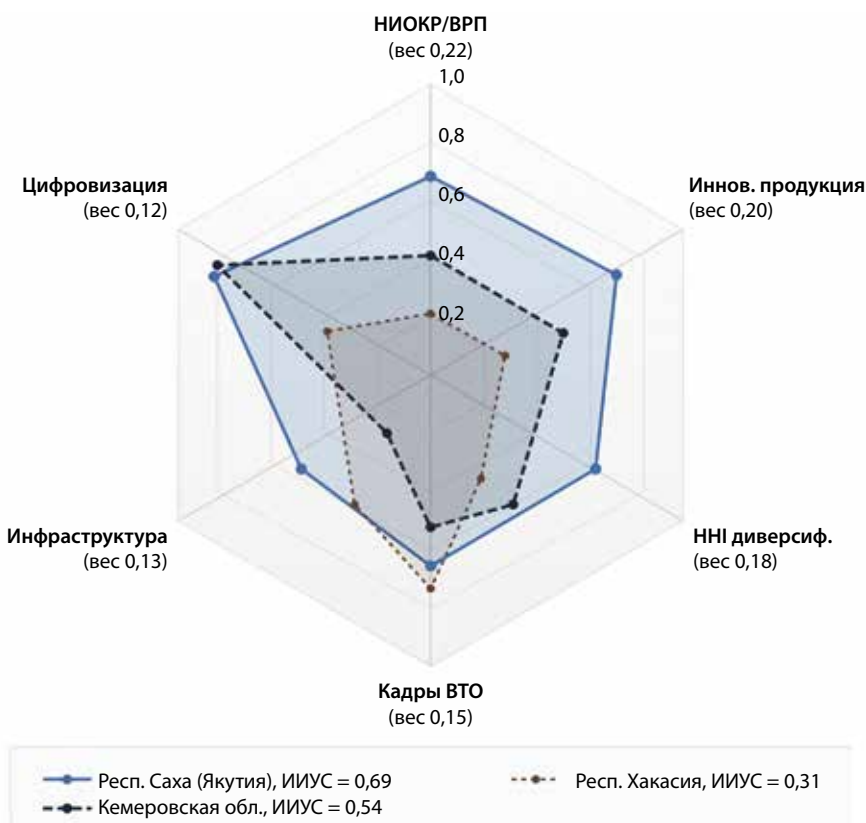


Рис. 2. Профиль интегрального индекса инновационной устойчивости (ИИУС) угольных регионов по шести субиндексам, 2024 г.

Fig. 2. Profile of the Composite Innovation Sustainability Index (CISI) for the coal-producing regions based on six sub-indices, 2024

Результаты множественной регрессии: факторы формирования ИИУС

Multiple regression results: factors influencing the CISI

| Переменная | Коэффициент (β) | Стд. ошибка | t-статистика | p-значение |
|---|-----------------|-------------|--------------|------------|
| Константа (β ₀) | 0,118 | 0,042 | 2,81 | 0,031 |
| X ₁ – Инвестиции в НИОКР, млрд руб. | 0,043 | 0,009 | 4,78 | 0,003 |
| X ₂ – Экспортная цена угля, дол. США/т | 0,0018 | 0,0005 | 3,60 | 0,011 |
| X ₃ – Доля несырьевых секторов ВРП, % | 0,0061 | 0,0019 | 3,21 | 0,018 |
| X ₄ – Индекс технологической доступности (0-1) | 0,194 | 0,058 | 3,34 | 0,016 |

Примечание: n = 10 регионов, период 2019-2024 гг. (60 наблюдений, панельные данные).

подтверждает приоритетность инвестиций в НИОКР для инновационной трансформации.

Модель объясняет 74% вариации ИИУС (R^2 скорр. = 0,74), при этом все четыре предиктора статистически значимы ($p < 0,05$). Наибольшее стандартизованное влияние оказывают инвестиции в НИОКР ($\beta^* = 0,41$): увеличение расходов на 1 млрд руб. повышает ИИУС на 0,043 п. при прочих равных. Существенно, что индекс технологической доступности (X_4), снизившийся с 0,82 в 2021 г. до 0,38 в 2024 г. вследствие санкционных ограничений, при падении на 0,1 п. снижает ИИУС на 0,019 п. Это означает, что трехлетний кумулятивный эффект санкций обеспечил снижение ИИУС в среднем на 0,085 п. по выборке, что сопоставимо с потерей 2 млрд руб. инвестиций в НИОКР.

Экспортная цена оказывает положительное, но меньшее по модулю влияние ($\beta = 0,0018$): падение цены на 30 дол. США/т (примерно соответствует динамике 2022-2025 гг.) снижает ИИУС на 0,054 п. через механизм сокращения инвестиционных ресурсов. Нелинейность этой зависимости

проявляется в пороговом эффекте: при ценах ниже 85 дол. США/т (FOB Дальний Восток) экспортная деятельность Кузбасса становится нерентабельной по всем направлениям, что обрушивает финансовую базу инновационных проектов. Доля несырьевых секторов в ВРП (X_3) – индикатор диверсификации – демонстрирует устойчивую положительную связь с ИИУС ($\beta = 0,0061$), однако процесс диверсификации обладает значительной инерцией: по оценке губернатора Кемеровской области, ежегодное замещение угольной доли в ВРП составляет 1,5-2%.

На основе полученных зависимостей и экспертных допущений сформированы три сценария развития инновационных экосистем (табл. 4).

Детальный анализ отдельных параметров показывает следующее. Инерционный сценарий наиболее вероятен при сохранении текущей архитектуры государственной поддержки. Добыча в Кузбассе сократится до 150-160 млн т к 2035 г. (снижение на 20-25% от уровня 2024 г.), что повлечет высвобождение 25-30 тыс. рабо-

Таблица 4

Параметры трехсценарной модели развития инновационных экосистем угольных регионов, 2025-2035 гг.

Parameters of the triple-scenario model for development of innovation ecosystems in the coal-producing regions, 2025-2035

| Параметр | Инерционный | Адаптивный | Активная диверсификация |
|--|-------------|------------|-------------------------|
| Добыча угля, РФ, 2035 г., млн т | 380-400 | 420-440 | 350-380 |
| Экспорт угля, 2035 г., млн т | 150-170 | 180-200 | 120-150 |
| Средняя цена FOB ДВ, дол. США/т | 70-85 | 85-105 | 75-90 |
| Индекс технологической доступности, 2035 г. | 0,30-0,35 | 0,45-0,55 | 0,50-0,60 |
| Инвестиции в НИОКР, млрд руб./год | 3,5-5,0 | 8,0-12,0 | 15,0-22,0 |
| Доля инновационной продукции в ВРП, 2035 г., % | 3,5-4,2 | 6,0-8,5 | 9,5-11,8 |
| ИИУС (среднее по 10 регионам), 2035 г. | 0,33-0,38 | 0,48-0,55 | 0,62-0,71 |
| Доля угля в ВРП Кузбасса, 2035 г., % | 25-28 | 18-22 | 12-16 |
| Занятость в угледобыче, тыс. чел. | 85-95 | 90-100 | 70-80 |
| Занятость в новых секторах, тыс. чел. | 5-10 | 15-25 | 35-55 |
| Объем углехимической переработки, млн т/год | 2-3 | 5-8 | 12-18 |
| Совокупные инвестиции 2025-2035, трлн руб. | 1,8-2,2 | 3,0-3,8 | 4,5-5,5 |

Примечание: инерционный сценарий предполагает сохранение текущих трендов без существенных политических интервенций; санкционный режим сохраняется или ужесточается; государственная поддержка ограничена текущими программами. Адаптивный сценарий базируется на частичном смягчении технологических ограничений (через параллельный импорт и кооперацию с КНР), умеренном увеличении финансирования инновационных программ, поэтапной реализации углехимических проектов. Сценарий активной диверсификации предусматривает целевые государственные инвестиции в размере 2-3% ВРП угольных регионов в инновационную инфраструктуру, ускоренное развертывание углехимических кластеров по китайской модели, масштабные программы перекавалификации (не менее 10 тыс. чел./год), создание СЭЗ на базе промышленных площадок высвобождаемых предприятий.

чих мест. При отсутствии целевых инвестиций в НИОКР выше 5 млрд руб./год ИИУС снизится с текущего среднего 0,50 до 0,33-0,38, что означает деградацию инновационного потенциала. Прогнозная доля инновационной продукции не превысит 4,2% ВРП – уровень, недостаточный для компенсации сокращения угольных доходов (рис. 3).

Адаптивный сценарий реалистичен при условии реализации Программы повышения эффективности угольной отрасли (находится в высокой степени готовности по данным Минэнерго на 2025 г.) и модернизации Восточного полигона РЖД до проектных 180 млн т/год [13]. В этом сценарии инвестиции в НИОКР увеличиваются до 8-12 млрд руб./год, что позволяет поддержать ИИУС на уровне 0,48-0,55 и запустить 3-5 пилотных углехимических проектов (производство углеродных сорбентов, гуминовых удобрений, углеродного волокна). Объем углехимической переработки достигнет 5-8 млн т/год – в 2-3 раза больше текущего.

Сценарий активной диверсификации является наиболее амбициозным и требует совокупных инвестиций в 4,5-5,5 трлн руб. за десятилетие. Ориентиром служит китайская модель, где крупные вертикально интегрированные угольные компании (Shenhua / China Energy) диверсифицировали бизнес от добычи до производства олефинов, метанола и синтетического топлива с добавленной стоимостью, в 3-5 раз превышающей стоимость сырого угля [14]. В России потенциал углехимии оценивается в 12-18 млн т переработки к 2035 г., что создаст 20-3 тыс. высококвалифицированных рабочих мест. Ключевое условие – формирование углехимических кластеров в Кузбассе (на базе Института углехимии и химического материаловедения ФИЦ угля и углехимии СО РАН) и Якутии.

Для формализации условий перехода между сценариями рассчитаны критические пороговые значения (табл. 5). Верификация модели на ретроспективных данных 2019-2024 гг. показала, что среднеквадратическая ошибка прогноза ИИУС составляет 0,037 п. (6,8% от среднего значения), что свидетельствует о приемлемой точности. При подстановке параметров 2024 г. (цена FOB ДВ ≈ 95 дол. США/т, индекс технологической доступности 0,38, инвестиции в НИОКР ≈ 4,2 млрд руб.) модель прогнозирует средний ИИУС = 0,49, что расходится с фактическим значением (0,50) на 0,01 п. [15]. Анализ показывает, что

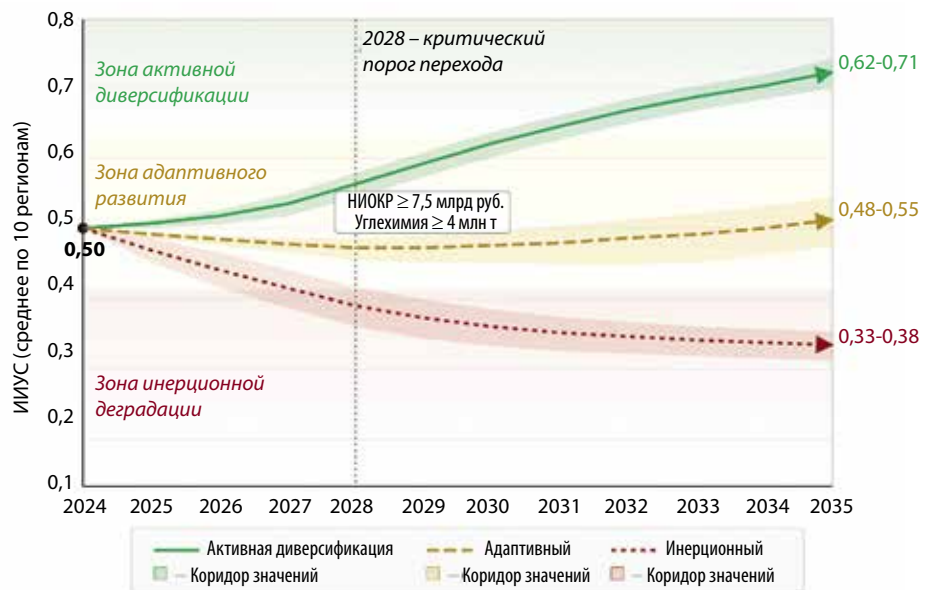


Рис. 3. Прогнозные траектории ИИУС угольных регионов по трем сценариям, 2024-2035 гг.

Fig. 3. A projected CISI paths for the coal-producing regions under three scenarios, 2024-2035

Критические пороги перехода между сценариями

Critical thresholds for transition between the scenarios

Таблица 5

| Индикатор | Порог инерционный → → адаптивный | Порог адаптивный → → активная диверсификация |
|--|-------------------------------------|---|
| Инвестиции в НИОКР, млрд руб./год | > 7,5 | > 14,0 |
| Экспортная цена FOB ДВ, дол. США/т | > 90 | > 85 (при компенсации из бюджета) |
| Индекс технологической доступности | > 0,42 | > 0,48 |
| Доля несырьевых секторов ВРП, % | > 55 | > 65 |
| Численность переквалифицированных кадров, тыс./год | > 3,0 | > 10,0 |
| Объем углехимической переработки, млн т/год | > 4,0 | > 10,0 |
| Число новых МСП на регион/год | > 120 | > 350 |
| Государственная поддержка, % ВРП регионов | > 1,0 | > 2,0 |

Примечание: пороговые значения рассчитаны на основе регрессионной модели (табл. 3) и экспертных оценок (второй раунд Дельфи, $W = 0,72$). Критический порог инвестиций в НИОКР (7,5 млрд руб.) соответствует удвоению текущего уровня финансирования. Порог технологической доступности 0,42 предполагает частичное замещение импортного оборудования отечественными аналогами (уровень импортозамещения горно-шахтного оборудования – не менее 55%). Число МСП – число вновь зарегистрированных малых и средних предприятий в несырьевых секторах на территории угольного региона.

Прогнозная структура занятости в угольных регионах по сценариям, 2035 г., тыс. чел.

A projected employment structure in the coal-producing regions by scenarios, 2035, thousands of people

| Сектор | 2024 (факт) | Инерционный | Адаптивный | Актив. диверсиф. |
|--|-------------|-------------|------------|------------------|
| Угледобыча и обогащение | 148,5 | 85-95 | 90-100 | 70-80 |
| Углекимия и глубокая переработка | 4,2 | 6-8 | 12-18 | 25-35 |
| IT и цифровые сервисы для горной отрасли | 3,8 | 5-7 | 10-15 | 18-25 |
| Рекультивация и экологические технологии | 2,1 | 3-4 | 5-8 | 10-15 |
| Туризм и сервисная экономика | 11,4 | 13-16 | 18-25 | 28-40 |
| Итого новые секторы | 21,5 | 27-35 | 45-66 | 81-115 |
| Баланс занятости (новые – потеря в угле) | – | -28...-18 | -14...+7 | +3...+47 |

Примечание: данные по занятости в угледобыче 2024 г. – оценка на основе 151 предприятия Кемеровской области (110 тыс. чел.) и пропорционального расчета по остальным регионам. Углекимия включает производство углеродных материалов, гуминовых препаратов, синтетического топлива, каменноугольной смолы и ее производных. Баланс занятости рассчитан как разница прироста новых секторов и сокращения в угледобыче. Лишь сценарий активной диверсификации обеспечивает положительный баланс; адаптивный сценарий выходит на нулевой баланс к 2032-2033 гг.

текущее состояние отрасли наиболее близко к инерционному сценарию с отдельными элементами адаптивного: 17 предприятий Кузбасса приостановлены или законсервированы к августу 2025 г., совокупный убыток отрасли за I полугодие 2025 г. превысил показатель всего 2024 г. Однако запуск нового разреза «Кабактинский» в Якутии (СУЭК-Хакасия, проектная мощность – 750 тыс. т коксующегося угля марки «К», извлекаемые запасы – 1,2-1,7 млрд т) и реализация программы «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс» свидетельствуют о присутствии элементов активной стратегии.

Принципиальный вывод: без перехода к адаптивному сценарию к 2028 г. отрасль рискует попасть в «ловушку инерции», когда сокращающиеся доходы от угольного экспорта будут недостаточны для финансирования диверсификации, а диверсификация – недостаточно развита для компенсации выпадающих доходов. Критический порог – обеспечение инвестиций в НИОКР не менее 7,5 млрд руб./год и выход на объем углекимической переработки 4 млн т/год не позднее 2028-2029 гг.

Сценарное прогнозирование развития инновационной экосистемы угольных регионов в условиях турбулентности глобальных энергетических рынков предполагает использование продвинутых аналитических моделей, способных учитывать множественные сценарии внешнего давления. Зевелева Е.А. демонстрирует, что применение генеративных моделей к задачам прогнозирования в условиях климатических изменений позволяет формировать вариативные сценарии трансформации сложных систем с учетом нелинейности воздействующих факторов и неопределенности исходных данных [16]. Экстраполяция данного подхода на угольную отрасль позволяет выстраивать прогнозные модели, учитывающие одновременное влияние санкционных ограничений, сжатия экспортных рынков и технологической изоляции на инновационный потенциал ресурсодобывающих регионов.

Динамика экспортных направлений подтверждает структурный характер сдвига: в 2020 г. на страны ЕС приходилось более 30% российского угольного экспорта, к 2024 г. поставки сократились на 85%. Компенсация за

счет АТР лишь частична – рост поставок в Китай (+60%) и Индию (+25%) не покрывает выпадающих объемов с учетом дисконтов: российский уголь торгуется с дисконтом 15-25% к бенчмаркам FOB Newcastle вследствие конкуренции с австралийским и монгольским углем на китайском рынке. Введение Китаем ввозных пошлин (3% на коксующийся, 6% на энергетический уголь) с 2024 г. дополнительно сузило маржу российских экспортеров. Цифровизация производства демонстрирует неравномерный прогресс: УК «Кузбассразрезуголь» реализует более 300 цифровых проектов, включая цифровые двойники Бачатского, Краснобродского и Калтанского разрезов, что позволяет оптимизировать буровзрывные работы и контролировать качество угля в реальном времени. 88% кузбасского угля перевозится инновационным подвижным составом. Однако эти точечные достижения не формируют целостной экосистемы: разрыв между лидерами цифровизации и аутсайдерами (Хакасия – 15%, Забайкалье – 18%) составляет более 20 п.п.

Баланс занятости является критическим социальным индикатором. При инерционном сценарии потеря 53-63 тыс. рабочих мест в угледобыче компенсируется лишь на 30–60%, что создает предпосылки для социальной дестабилизации в моногородах (Кузбасс насчитывает 24 моногорода с преобладанием угольной специализации). Сценарий активной диверсификации с созданием 81-115 тыс. новых рабочих мест не только компенсирует сокращение, но и обеспечивает прирост совокупной занятости на 3-47 тыс. При этом ключевым ограничением является программа перекавалификации: для подготовки специалистов углекимического профиля требуется 2-3 года, IT-специалистов – 1,5-2 года, что задает минимальный временной лаг между инвестиционным решением и кадровым эффектом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование установило, что инновационные экосистемы угольных регионов России находятся в точке бифуркации, параметры которой определяются сочетанием внешних и внутренних факторов с кванти-

фицируемым влиянием на траекторию развития. Интегральный индекс инновационной устойчивости (ИИУС), рассчитанный для 10 регионов, демонстрирует размах от 0,31 (Хакасия) до 0,69 (Якутия), при среднем значении 0,50, что свидетельствует о глубокой межрегиональной дифференциации и невозможности единого шаблона инновационной политики. Регрессионная модель, объясняющая 74% вариации ИИУС, зафиксировала приоритетность инвестиций в НИОКР (стандартизированный коэффициент $\beta^* = 0,41$): прирост финансирования на 1 млрд руб. увеличивает индекс на 0,043 п.

Трехлетний кумулятивный эффект технологических санкций обусловил падение индекса технологической доступности с 0,82 до 0,38, что эквивалентно потере инновационного потенциала, сопоставимой с сокращением инвестиций в НИОКР на 2 млрд руб. Доля убыточных предприятий достигла 53,3% в 2024 г. при совокупных потерях отрасли в 112,6 млрд руб., формируя ресурсную «ловушку»: сокращающиеся доходы не позволяют финансировать диверсификацию, а диверсификация не достигла масштаба, достаточного для компенсации выпадающих поступлений. Кузбасс, обеспечивающий 50% российской добычи, переживает непрерывное падение седьмой год подряд – с 255,3 млн т (2019 г.) до прогнозных 191 млн т (2025 г.), тогда как Якутия утроила объемы за тот же период, продемонстрировав возможность создания цифровой инфраструктуры нового поколения параллельно с производственной.

Трехсценарная модель установила, что инерционный сценарий приводит к снижению ИИУС до 0,33-0,38 к 2035 г. и потере 53-63 тыс. рабочих мест, компенсируемых лишь на 30-60%. Сценарий активной диверсификации обеспечивает рост ИИУС до 0,62-0,71 и создание 81-115 тыс. новых рабочих мест в углехимии, IT-сервисах, экологических технологиях и туризме при совокупных инвестициях 4,5-5,5 трлн руб. Критический порог перехода от инерционного к адаптивному сценарию – инвестиции в НИОКР не менее 7,5 млрд руб./год и объем углехимической переработки 4 млн т/год к 2028–2029 гг. Этот порог фиксирует «точку невозврата»: его недостижение к 2028 г. с высокой вероятностью запирает систему в инерционной траектории.

В контексте глобальных трендов полученные результаты корреспондируют с прогнозами IEA (WEO 2025, STEPS): мировой спрос на уголь достигнет пика до 2030 г., возобновляемые источники обгонят уголь в глобальной электрогенерации к концу 2025 – середине 2026 г., доля ВИЭ достигнет 43% к 2030 г. Для России это означает устойчивое сужение экспортного окна: даже при сохранении азиатского спроса конкуренция с австралийским, индонезийским и монгольским углем и рост внутренней добычи в Китае и Индии ограничивают возможности наращивания объемов. Цены энергетического угля FOB ДВ, опустившиеся до кризисных уровней 2019–2020 гг. в 2025 г., при отсутствии нового ценового цикла не обеспечат рентабельность экспорта Кузбасса ни на одном направлении.

Полученные результаты дополняют и проблематизируют действующую Программу развития угольной промыш-

ленности до 2035 г., оптимистичный сценарий которой (668 млн т добычи, 392 млн т экспорта) разрабатывался в принципиально иных геоэкономических условиях. Фактическая траектория 2019–2025 гг. (стагнация на уровне 440 млн т при нарастающей убыточности) свидетельствует о реализации условий, промежуточных между консервативным и инерционным сценариями настоящего исследования. Углехимический потенциал России – 12-18 млн т переработки к 2035 г. при сценарии активной диверсификации – способен генерировать продукцию с добавленной стоимостью, в 3-5 раз превышающей стоимость сырого угля, но его реализация требует институциональных условий, включающих налоговые преференции для углехимических кластеров, ускоренное развитие кооперации с КНР в сфере технологий CTL/CTO (coal-to-liquids, coal-to-olefins) и масштабную программу перекавалификации не менее 10 тыс. чел./год.

Динамика структурной трансформации показывает, что угольные регионы вступили в фазу вынужденной диверсификации: доля угля в ВРП Кузбасса снизилась с 35% (2018) до 30% (2024), при этом снижение на 1,5-2% ежегодно происходит скорее вследствие сокращения угольных доходов, нежели опережающего роста альтернативных секторов. Перевод этого процесса из стихийного в управляемый – центральная задача региональной инновационной политики. Международный опыт (Русский бассейн – 25 лет трансформации при инвестициях, эквивалентных 3-5% ВРП региона, Аппалачи – текущий 15-летний цикл с федеральной поддержкой через программу POWER) подтверждает реалистичность двадцатилетнего горизонта при условии системного подхода и устойчивого финансирования.

Список литературы • References

1. International Energy Agency. Coal 2025: Analysis and Forecast to 2027. Paris, IEA, 2025. 156 p. URL: <https://www.iea.org/reports/coal-2025>.
2. International Energy Agency. World Energy Outlook 2025. Paris, IEA, 2025, 386 p. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025>.
3. Мешков Г.Б., Петренко И.Е., Губанов Д.А. Итоги работы угольной промышленности России за 2023 год // Уголь. 2024;(3):18-29. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-3-18-29.
Meshkov G.B., Petrenko I.E., Gubanov D.A. Russia's coal industry performance for 2023. *Ugol'*. 2024;(3):18-29. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-3-18-29.
4. Петренко И.Е. Итоги работы угольной промышленности России за 2022 год // Уголь. 2023;(3):21-33. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-3-21-33.
Petrenko I.E. Russia's coal industry performance for January – December, 2022. *Ugol'*. 2023;(3):21-33. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-3-21-33.
5. Плакиткин Ю.А., Плакиткина Л.С., Дьяченко К.И. Прогнозные оценки масштабов применения новых технологий в угольной отрасли на период до 2040 года // Горная промышленность. 2019. № 5. С. 10-16. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-5-10-16.
Plakitkin Yu.A., Plakitkina L.S., Dyachenko K.I. Projections of new technology utilization scales in coal industry for the period until

2040. *Gornaya promyshlennost'*. 2019;(5):10-16. (In Russ.). DOI: 10.30686/1609-9192-2019-5-10-16.
6. NEFT Research. Обзор инвестиционной активности угольной отрасли России: 2024. М., 2025. 48 с.
 7. Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 13.06.2020 № 1582-р (ред. от 2023 г.). URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1846>.
 8. Carayannis E.G., Campbell D.F.J. Triple Helix, Quadruple Helix and Quintuple Helix and How Do Knowledge, Innovation and the Environment Relate to Each Other? *International Journal of Social Ecology and Sustainable Development*. 2010;1(1):41-69. DOI: 10.4018/jesd.2010010105.
 9. Якимова В.А. Прогнозные модели формирования инновационных и цифровых экосистем в приграничных регионах // *Terra Economicus*. 2024;22(3):96-114. DOI: 10.18522/2073-6606-2024-22-3-96-114.
Yakimova V.A. Models for forecasting the emergence of innovative and digital ecosystems in border regions of Russia. *Terra Economicus*. 2024;(3):96-114. (In Russ.). DOI: 10.18522/2073-6606-2024-22-3-96-114.
 10. Jolley G.J., Khalaf C., Michaud G., Sandler A. The Economic, Fiscal, and Workforce Impacts of Coal-Fired Power Plant Closures in Appalachian Ohio. *Regional Science Policy & Practice*. 2019;11(3):403-422. DOI: 10.1111/rsp3.12191.
 11. Resources for the Future. *Global Energy Outlook 2025: Headwinds and Tailwinds in the Energy Transition*. Washington, DC: RFF, 2025. URL: <https://www.rff.org/publications/reports/global-energy-outlook-2025/>.
 12. Яков и Партнеры. Будущее угольной индустрии: рынок России до 2050 г. М., 2023. 64 с. URL: <https://yakovpartners.ru/publications/coal-industry-overview-russia/>.
 13. Жданев О.В. Обеспечение технологического суверенитета отраслей ТЭК Российской Федерации // *Записки Горного института*. 2022. Т. 258. С. 1061-1078. DOI: 10.31897/PMI.2022.105.
Zhdanev O.V. Technological sovereignty of the Russian Federation fuel and energy complex. *Zapiski Gornogo instituta*. 2022;(258): 1061-1078. (In Russ.). DOI: 10.31897/PMI.2022.105.
 14. Isherwood P.J., Meyerstein A. China's Coal-to-Chemicals Industry: A Decade of Progress and Prospects. *Energy Policy*. 2023;(174):113-127. DOI: 10.1016/j.enpol.2022.113402.
 15. Fridley D., Lu H., Liu X. Key China Energy Statistics 2024. Berkeley, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2024, 118 p. DOI: 10.2172/2316929.
 16. Зевелева Е.А. Применение генеративных состязательных сетей (GAN) и данных экологического мониторинга для моделирования и прогнозирования изменений биоразнообразия в условиях климатических изменений в России // *Вопросы экологии*. 2024. Т. 37. № 1. С. 38-67.
Zeveleva E.A. The use of generative adversarial networks (GAN) and environmental monitoring data for modeling and forecasting changes in biodiversity in the context of climate change in Russia. *Voprosy ekologii*. 2024;37(1):38-67. (In Russ.).

Authors Information

Krasyukova N.L. – Doctor of Economics Sciences, Research Fellow at the Institute for Management Research and Consulting, Faculty of the Higher School of Management, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, 125167, Russian Federation, e-mail: NLKrasyukova@fa.ru

Moskvitina E.I. – PhD (Economics), Research Fellow at the Institute of Management Research and Consulting, Faculty of the Higher School of Management, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, 125167, Russian Federation, e-mail: EIMoskvitina@fa.ru

Voronova E.I. – PhD (Economics), Research Fellow at the Institute of Management Research and Consulting, Faculty of the Higher School of Management, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, 125167, Russian Federation, e-mail: EIShayuk@fa.ru

Kharchenko K.V. – PhD (Sociological), Research Fellow at the Institute of Management Research and Consulting, Faculty of the Higher School of Management, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, 125167, Russian Federation, e-mail: KVKharchenko@fa.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 26.02.2026

Поступила после рецензирования: 16.04.2026

Принята к публикации: 30.04.2026

Paper info

Received February 26, 2026

Reviewed April 16, 2026

Accepted April 30, 2026