

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СТАТЬЯ



<https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2025-3-20>

УДК 330.15

JEL O320

Ж. Гао ^{a)}, А.И. Семячков ^{b)}, Я. Сан ^{a)}

^{a)} Сианьский университет Фаньши, г. Сиань, Китай

^{b)} Институт экономики УрО РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация

^{a)} Институт географических наук и природных ресурсов Китайской академии наук, г. Пекин, Китай

Выбросы углерода: влияние на структуру экономики, энергетическую политику и климат – на примере Китая и России¹

Аннотация. В условиях нарастающих климатических вызовов снижение выбросов CO₂ стало ключевой задачей устойчивого развития, особенно для таких стран, как Китай и Россия, демонстрирующих разные экономические и энергетические траектории. Цель статьи – провести сравнительный анализ влияния трансформации структуры экономики, изменений в энергетической политике и механизмов глобального управления климатом на динамику выбросов CO₂. В качестве гипотез рассматривается, что (H1) структурная перестройка экономики влияет на снижение выбросов, (H2) энергетическая политика оказывает разнонаправленное влияние, (H3) внедрение глобальных механизмов управления климатом по-разному воздействуют на страны. Эмпирическая база включает панельные данные за 2000–2023 гг. по ВВП на душу населения (GDPpc), доле ископаемых (FE) и возобновляемых источников энергии (RE), структуре экономики (IS), а также фиктивной переменной наличия системы торговли квотами (CT). Модель с фиксированными эффектами показывает, что в Китае GDPpc положительно влияет на выбросы ($\beta = 0.415 - 0.591$, $p < 0.01$), тогда как структурные реформы и развитие углеродного рынка существенно снижают их. В России влияние GDPpc слабо ($\beta = 0.01 - 0.049$), структурные факторы статистически незначимы, а рынок углерода отсутствует. Китай демонстрирует более активную стратегию энергетического перехода, включая рост доли возобновляемых источников энергии и сокращение зависимости от ископаемых ресурсов. На основе результатов исследования предлагается усиливать экономические стимулы и международное сотрудничество в области регулирования выбросов углерода.

Ключевые слова: пути снижения выбросов углерода, трансформация структуры экономики, энергетическая политика, глобальное управление климатом, сравнительный анализ Китая и России

Благодарность: Статья подготовлена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Программа развития Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института экономики Уральского отделения Российской академии наук на 2024–2026 годы); исследование с китайской стороны финансируется Исследовательским проектом по начальному финансированию докторских исследований в Сианьском институте Фаньши в 2022 г. (проект № 2022B02); исследовательским проектом ключевого аналитического центра «Борьба за новый виток китайской модернизации и в инновационном развитии Шэньси» в 2023 г. – научно-исследовательским проектом «Путь развития чистой энергии в Шэньси», (проект № 2023ZD1077).

Для цитирования: Гао, Ж., Семячков, А.И., Сан, Я. (2025). Выбросы углерода: влияние на структуру экономики, энергетическую политику и климат – на примере Китая и России. *Экономика региона*, 21(3), 859–874. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2025-3-20>

¹ © Гао Ж., Семячков А.И., Сан Я. Текст. 2025.

RESEARCH ARTICLE

Rong Gao ^{a)}, Aleksandr I. Semyachkov  ^{b)}, Yangfang Sang ^{c)}^{a)} Xi'an FanYi University, Xi'an, China^{b)} Institute of Economics of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation^{c)} Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

Carbon Emissions: Impact on Economic Structure, Energy Policy and Climate – Case Studies of China and Russia

Abstract: In the face of escalating climate challenges, CO₂ reduction has become a central objective of sustainable development, particularly for countries such as China and Russia, which follow distinct economic and energy paths. This paper aims to conduct a comparative analysis of the impact of economic structural transformation, energy policy evolution, and global climate governance mechanisms on CO₂ emission dynamics. The study tests three hypotheses: (H1) structural adjustment reduces emissions; (H2) energy policy produces divergent effects; and (H3) global mechanisms affect countries differently. The empirical analysis draws on panel data from 2000–2023, covering GDP per capita (GDPpc), the shares of fossil energy (FE) and renewable energy (RE), economic structure (IS), and a dummy variable for the presence of an emissions trading system (CT). Fixed-effects estimations reveal that in China, GDPpc has a strong positive effect on emissions ($\beta = 0.415 - 0.591$, $p < 0.01$), while structural reforms and the carbon market significantly reduce them. In Russia, the GDPpc effect is weak ($\beta = 0.01 - 0.049$), structural variables are statistically insignificant, and a national carbon market is absent. China is pursuing a more proactive energy transition strategy, characterized by a rising share of renewables and reduced reliance on fossil fuels. The study showcases the need for stronger economic incentives and greater international cooperation in carbon regulation.

Keywords: pathways for reducing carbon emissions, economic structure transformation, energy policy, global governance of climate change, comparative analysis of China and Russia

Acknowledgments: The research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Development Program of the Federal State Budgetary Institution of Science, Institute of Economics, Ural Branch of RAS for 2014–2026). The Chinese contribution came from the Research Project for Initial Financing of Doctoral Research at Xi'an Fanyi Institute in 2022 (Project No. 2022B02) and the key think tank project "Struggle for a New Round of China's Modernization and Innovative Development of Shaanxi in 2023", specifically the research project "Development Path of Clean Energy in Shaanxi" (Project No. 2023ZD1077).

For citation: Gao, R., Semyachkov, A.I., Sang, Y. (2025) Carbon Emissions: Impact on Economic Structure, Energy Policy and Climate—Case Studies of China and Russia. *Ekonomika regiona / Economy of regions*, 21(3), 859–874. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2025-3-20>

Введение

С учетом все более усиливающегося влияния глобальных климатических изменений на экологическую среду, экономическое развитие и социальную стабильность контроль выбросов диоксида углерода (CO₂) становится центральной темой для обсуждения в международном сообществе экологов. Такие международные механизмы, как Рамочная конвенция ООН об изменении климата (UNFCCC), Киотский протокол и Парижское соглашение, предоставляют институциональные рамки и руководящие принципы для определения целей и путей сокращения выбросов углерода. Из-за различий в уровнях экономического развития, структуре промышленности и энергетической зависимости каждая страна обладает значительной спецификой в разработке и реализации углеродной политики. В данном

исследовании в качестве объектов выбраны Китай и Россия.

Основой глобального управления климатом является создание многостороннего механизма сотрудничества, ориентированного на сокращение выбросов диоксида углерода. Парижское соглашение, являющееся самым инклюзивным и обязательным международным климатическим договором на сегодняшний день, ставит целью ограничение роста средней глобальной температуры до 2°C и стремление к её удержанию в пределах 1,5°C. Для достижения этой цели каждая страна-участница обязана разработать и представить свои показатели, определяемые на национальном уровне, четко обозначив сроки и меры по достижению пиковых значений выбросов углерода. Однако в рамках международной системы сокращения углеродных выбросов страны де-

монстрируют различные подходы. Например, Европейский Союз с помощью таких механизмов, как система торговли выбросами, добился значительного снижения углеродоёмкости в регионе, в то время как США до сих пор не ратифицировали Киотский протокол. На этом фоне Китай, благодаря его уникальному экономическому развитию, и Россию — природным энергетическим ресурсам, можно рассматривать для сравнения методов управления выбросами углерода.

Китай является крупнейшим мировым источником выбросов углерода (рис. 1).

С момента публикации в 2007 г. «Национального плана действий по изменению климата» Китай постепенно поднял управление климатом на уровень государственной стратегии, реализуя средне- и долгосрочные цели по сокращению выбросов в форме планов конкретных мероприятий. В 2011 г. Китай запустил семь пилотных проектов по торговле квотами на выбросы углерода, а в 2021 г. официально создал национальный углеродный рынок, ставший одной из самых крупных по охвату систем торговли выбросами в мире. Кроме того, Китай поставил цели достижения углеродного пика к 2030 г. и углеродной нейтральности — к 2060 г. Эти цели, известные как «двойная углеродная цель», отражают решение Китая активно участвовать в глобальном управлении климатом. Китай предпринял ряд мер для снижения углеродоемкости, включая преобразование энергетики, усиление управления энергоэффективностью, развитие

возобновляемых источников энергии и создание механизмов зеленого финансирования. Например, в рамках планов 13-й и 14-й пятилеток Китай поставил цели по увеличению доли возобновляемых источников энергии и снижению доли ископаемого топлива, ожидая технологических прорывов в таких областях, как ветровая, солнечная и ядерная энергия. Кроме того, Китай активно продвигает зеленые технологические инновации, развивая низкоуглеродные технологии и стимулируя трансформацию промышленности.

В отличие от Китая, Россия пока демонстрирует сдержанную политику в области управления выбросами углерода. Будучи четвертым по величине источником выбросов углерода в мире, Россия характеризуется высокой зависимостью экономики от энергетической отрасли, а её политика сокращения выбросов парниковых газов находится под значительным влиянием интересов стейкхолдеров в области энергетики. Хотя Россия подписала и ратифицировала Киотский протокол в 1997 г., в рамках Парижского соглашения ее показатели выбросов, определяемые на национальном уровне, отличаются недостаточной разработанностью и отсутствием четкого плана их сокращения. Россия пока не создала национальную систему торговли квотами на выбросы углерода, а существующие меры по сокращению выбросов реализуются преимущественно на региональном уровне. Например, в 2021 г. Россия запустила пилотный проект углеродной нейтральности на Сахалине, который включает

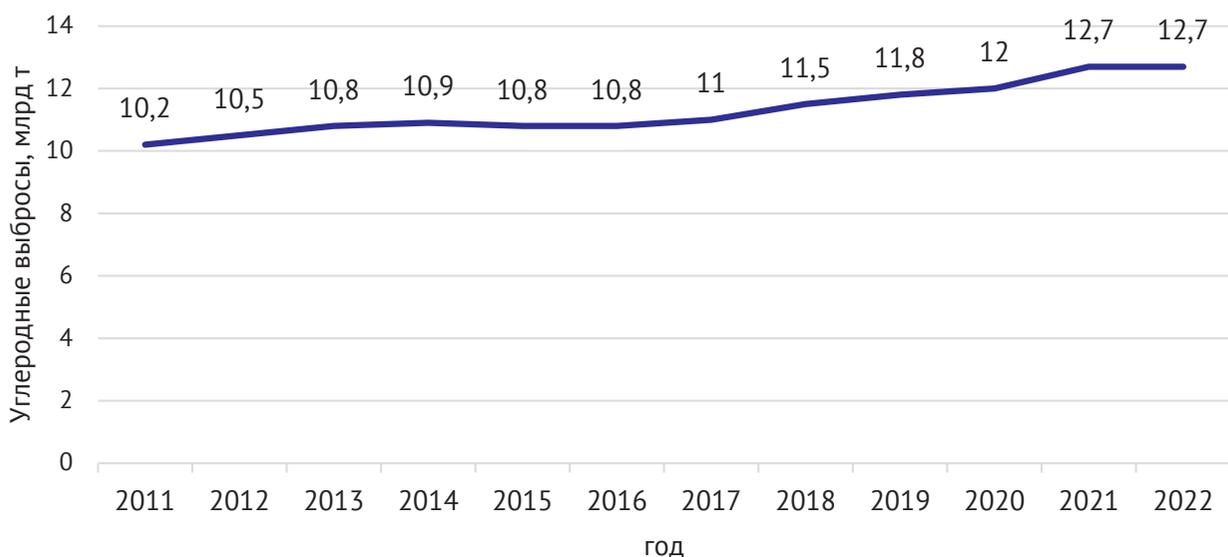


Рис. 1 Динамика выбросов углерода в Китае в 2011–2022 гг. (составлено по данным Trading Economics (<https://ru.tradingeconomics.com/china/co2-emissions>) (дата обращения: 17.01.2025)

Figure 1. CO₂ Emission Dynamics in China, 2011–2022 (compiled from Trading Economics data: <https://ru.tradingeconomics.com/china/co2-emissions> (accessed 17.01.2025)

рынок углеродных квот и технологии улавливания и хранения углерода. В области энергетической политики Россия по-прежнему делает акцент на природном газе как основном переходном источнике энергии, при этом практически отсутствует государственная поддержка развития возобновляемых источников энергии. Кроме того, из-за отсутствия приоритета климатической повестки на политической арене России её меры по сокращению выбросов в рамках международной климатической политики недостаточно эффективны.

Сравнительное исследование углеродной политики Китая и России позволяет выявить влияние различных моделей экономического развития и энергетической политики на выбросы углерода, к тому же это поможет определить возможность многостороннего сотрудничества.

Цель данной работы заключается в системном анализе направлений низкоуглеродного развития Китая и России. С учетом трех ключевых аспектов: трансформации структуры экономики, изменения энергетической политики и политики в области глобального управления климатом — была разработана теоретическая основа и выработаны практические рекомендации для глобального управления климатом в Китае и России.

Выбор трёх аналитических блоков: трансформации структуры экономики, изменений энергетической политики и политики в области глобального управления климатом — опирается на расширенное тождество Кайи ($\text{Population} \times \text{GDP per capita} \times \text{Energy Intensity} \times \text{Carbon Intensity}$) и выводы Шестого отчёта IPCC (AR6) по смягчению изменений климата. Первый блок отражает спросовую сторону процесса декарбонизации: изменения отраслевой структуры и технологического уклада влияют на энергоёмкость единицы добавленной стоимости. Второй блок характеризует предложение энергии: топливно-энергетический баланс и политика поддержки возобновляемых источников энергии (ВИЭ) определяют углеродоёмкость конечного энергопотребления. Третий блок фокусируется на институтах и стимулах, формируемых международными соглашениями и трансграничными механизмами регулирования, которые задают правила игры для национальных акторов. Совместное рассмотрение трёх блоков позволяет учесть производственные, энергетические и регуляторные детерминанты выбросов и обеспечить целостную оценку потенциала сокращения CO₂.

Предметом исследования является сравнительный анализ углеродной политики Китая и России, позволяющий выявить влияние различных моделей экономического развития и энергетической политики на выбросы углерода и определить возможности для многостороннего сотрудничества.

Обзор литературы и теория

Первый этап исследования — анализ синергетических механизмов модернизации структуры промышленности и сокращения выбросов углерода в Китае в рамках политики «двойного углерода». На фоне реализации целей «двойного углерода» Китай активно продвигает модернизацию структуры промышленности и трансформацию энергетики для достижения зеленого, низкоуглеродного и устойчивого развития. Исследования показывают, что оптимизация структуры промышленности в значительной степени нацелена на сокращение выбросов углерода. Ключевыми направлениями процесса являются рационализация и повышение уровня структурной модернизации (Чжао и др., 2024; Чэнь и др., 2024). На определенных этапах модернизация промышленной структуры демонстрирует обратную V-образную зависимость, тогда как рационализация неизменно оказывает сдерживающий эффект на выбросы углерода (Ян и др., 2024). Политические инструменты, например, экологическое налогообложение, играют важную роль в регулировании взаимосвязи между оптимизацией структуры промышленности и сокращением выбросов углерода, при этом обладая пороговым эффектом (Чэнь и др., 2024). Развитие в Китае возобновляемых источников энергии значительно снижает выбросы углерода, особенно в центральных и западных регионах, а также в районах с высоким уровнем экологического регулирования, где это проявляется наиболее заметно (Ли и др., 2024). В то же время пространственная концентрация энергетических мощностей имеет региональную гетерогенность в воздействии на выбросы углерода, и нерациональное распределение может усугубить углеродные выбросы (Ю и др., 2024). Анализ городского кластера дельты реки Янцзы как типичного примера показывает наличие механизма согласованного взаимодействия между эффективностью углеродных выбросов и инновационным экономическим развитием, где технологические инновации и оптимизация промышленной структуры выступают основными движущими силами сокращения выбро-

сов (Гун и др., 2025). Кроме того, исследования показывают, что пространственно-временное распределение и движущие факторы углеродных выбросов в Китае имеют сложный характер. Экологическая кривая Кузнеца (ЕКС) в определенной степени отражает нелинейную зависимость между экономическим развитием и выбросами углерода (Чжан и др., 2020; Цюань и др., 2019). Эффект расхождения между устойчивым развитием и углеродными выбросами свидетельствует о значительных различиях в региональном экономическом влиянии и путях координированного сокращения выбросов (Чжао и др., 2024).

Текущая ситуация и развитие политики России в области изменения климата и углеродных выбросов

Россия, являясь одним из крупнейших источников выбросов парниковых газов в мире, сталкивается с климатическими изменениями, скорость которых превышает глобальный средний показатель более чем в 2,5 раза (Брижанин и др., 2023). Для решения этой проблемы была разработана «Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года»¹, в которой представлены два сценария развития — инерционный и целевой. Эксперимент по ограничению выбросов парниковых газов, например, на территории Сахалинской области, будет проводиться до 2029 г.², и уже к концу 2025 г. планируется достичь углеродной нейтральности (Еремин, 2023). Ключевыми инструментами для сокращения выбросов парниковых газов являются система торговли квотами на выбросы, технологии улавливания и хранения углерода и механизмы зеленого финансирования (Lebedeva, 2022; Разумнова, 2022). По мнению специалистов, углеродное регулирование нуждается в дальнейшем совершенствовании с учетом международного опыта и должно включать в себя улучшение национальной системы учета и торговли углеродными единицами, а также усиление законодательных мер и международного сотрудничества в области сокращения выбросов метана (Котова, 2024). В условиях глобального энергетического перехода России необходимо внедрить инновации в области низ-

коуглеродных технологий и развитие зеленого финансирования, содействовать трансформации отраслей с высоким уровнем выбросов углерода и активно участвовать в глобальном управлении климатом.

Подходы к исследованию углеродных выбросов и политические рекомендации

Глобальные исследования углеродных выбросов имеют междисциплинарный характер, выявляя сложность проблемы и разнообразие путей её решения. Наукометрический анализ (Udara и др., 2019) показывает, что количество публикаций по углеродным выбросам продолжает расти, включая преимущественно исследования авторов из Китая, США и Великобритании: Ф. Петтерссон и др. (Pettersson et al., 2014) анализируют тенденции конвергенции выбросов CO₂ в разных странах, подчеркивая важные последствия структурных факторов и принципов справедливости в экономическом развитии; Цз. Дэн (Deng, 2024) рассматривает экономические инструменты и международное сотрудничество в управлении углеродными выбросами, раскрывая достижения и недостатки управления климатом; Х. Ван и Т. Фудзита (Wang & Fujita, 2023) исследуют феномен «скрытого углерода» в международной торговле, акцентируя внимание на принципах распределения ответственности в углеродных сделках и эффектах замещения. Роль финансовых рынков в сокращении углеродных выбросов также активно обсуждается. Согласно Г. Давар (Dawar et al., 2024), взаимодействие между финансовой политикой, углеродными рисками и экологическим управлением представляет собой перспективное направление для будущих исследований. В целом, выработанные в этих исследованиях рекомендации по эффективной борьбе с изменением климата составляют основу для глобального управления климатом, разработки политик и международного сотрудничества. Однако, несмотря на эти достижения, остаются направления, требующие улучшения: во-первых, сравнительные исследования проблемы углеродных выбросов Китая и России недостаточны; во-вторых, многие работы склонны к одноаспектному анализу, сосредотачиваясь, например, на промышленной структуре, трансформации энергетики или управлении выбросами, и оставляя без внимания комплексное взаимодействие множества переменных.

Учитывая эти пробелы, данное исследование направлено на изучение сходства и раз-

¹ Федеральный закон от 06.03.2022 N 34-ФЗ «О проведении эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов в отдельных субъектах Российской Федерации».

² Федеральный закон от 06.03.2022 N 34-ФЗ «О проведении эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов в отдельных субъектах Российской Федерации».

личия Китая и России в решении углеродных проблем с трех ключевых точек зрения: трансформации структуры экономики, изменений в энергетической политике и политике глобального управления климатом. Комплексный анализ многовариантных взаимодействий позволит выявить ключевые факторы и внутренние механизмы, определяющие политику в решении углеродных проблем двух стран, а также предложить рекомендации для глобального управления климатом. Цель исследования, таким образом, состоит не только в проведении сравнительного анализа решения Китаем и Россией экологических проблем, но и в разработке системной теоретической основы и практических руководств для сотрудничества.

Теоретическое обоснование выбора переменных модели

Выбор переменных для регрессионной модели основан на классических теориях экономики окружающей среды и эмпирических исследованиях факторов углеродных выбросов.

Во-первых, валовой внутренний продукт на душу населения (GDP_{pc}) выбран в качестве ключевой объясняющей переменной на основе теории экологической кривой Кузнеця (Environmental Kuznets Curve, ЕКC). Согласно данной теории, существует обратная U-образная зависимость между уровнем экономического развития и загрязнением окружающей среды, включая выбросы CO₂. На ранних стадиях экономического развития рост доходов сопровождается увеличением выбросов, однако после достижения определенного уровня развития начинается их снижение благодаря технологическим инновациям и структурным изменениям в экономике.

Во-вторых, доли ископаемых источников энергии (FE) и возобновляемых источников энергии (RE) включены в модель на основе теории энергетического перехода и концепции декарбонизации энергетического сектора. Согласно исследованиям IPCC и Международного энергетического агентства, структура энергопотребления является основным фактором, определяющим уровень углеродных выбросов в национальной экономике. Увеличение доли возобновляемых источников энергии и снижение зависимости от ископаемого топлива рассматриваются как ключевые стратегии декарбонизации (IPCC, 2022; IEA, 2021).

В-третьих, структура экономики (IS), измеряемая долей третичного сектора в ВВП, выбрана на основе теории структурной трансформации экономики. Согласно модели Льюиса и совре-

менным исследованиям постиндустриального развития, переход от индустриальной к сервисной экономике характеризуется снижением энергоемкости и углеродоемкости производства.

Наконец, система торговли углеродными квотами (СТ) включена как фиктивная переменная на основе теории рыночных механизмов регулирования выбросов. Согласно теореме Коуза и современным исследованиям углеродных рынков, создание системы торговли выбросами позволяет достичь сокращения углеродных выбросов с минимальными экономическими издержками через механизмы ценообразования на углерод (Coase, 1960; Ellerman et al., 2010).

Данный набор переменных обеспечивает комплексный анализ основных движущих сил углеродных выбросов: экономического развития, трансформации энергетики, структурных изменений и политических инструментов, что соответствует современным подходам к моделированию факторов изменения климата.

Методы исследования

Таким образом, необходимо с помощью эмпирического анализа изучить различия в способах сокращения углеродных выбросов Китая и России, а также выявить факторы, оказывающие на это сокращение особое влияние. Для достижения поставленных целей в данном случае используется метод регрессионного анализа. В качестве зависимой переменной выбраны объемы углеродных выбросов. В модели вводятся экономические переменные, энергетические переменные и политические фиктивные переменные для количественной оценки степени влияния этих факторов на углеродные выбросы и анализа различий по этим показателям между двумя странами.

Для всестороннего изучения влияния экономических, энергетических и политических факторов на углеродные выбросы была разработана модель множественной регрессии с использованием панельных данных, чтобы сравнить при разных экономических условиях и структурах энергопотребления Китая и России изменения углеродных выбросов (Li, 2024; Bussaban et al., 2024). Таким образом, включенные в модель экономические, энергетические и институциональные фиктивные переменные по отдельности отражают соответствующие три блока, обоснованные во введении. Базовая форма модели представлена следующим образом:

$$\text{CO}_2 = \beta_0 + \beta_1 \text{GDP}_{pc} + \beta_2 \text{FE} + \beta_3 \text{RE} + \beta_4 \text{IS} + \beta_5 \text{СТ} + \varepsilon, \quad (1)$$

где: CO_2 — зависимая переменная, представляющая объем углеродных выбросов, измеряемый в миллионах тонн (Mt). Выбор данной переменной обусловлен тем, что диоксид углерода составляет около 76 % всех парниковых газов и является основным индикатором воздействия экономической деятельности на изменения климата; GDP_{pc} — ключевая объясняющая переменная, представляющая ВВП на душу населения. Включение данной переменной основано на проверке гипотезы экологической кривой Кузнеца для углеродных выбросов в развивающихся экономиках; FE и RE — ключевые объясняющие переменные энергетической структуры. Выбор данных переменных обоснован тем, что энергетический сектор отвечает за более чем 70 % глобальных выбросов CO_2 , и трансформация энергетической структуры является центральным элементом стратегий декарбонизации; IS — контрольная переменная структурной трансформации экономики. Включение данной переменной основано на теории о том, что переход к постиндустриальной экономике сопровождается «дематериализацией» производства и снижением углеродоемкости; ST — контрольная переменная политических инструментов. Выбор данной переменной обусловлен необходимостью оценки эффективности рыночных механизмов регулирования выбросов, которые рассматриваются как наиболее перспективные инструменты климатической политики; ε — ошибка, контролирующая ненаблюдаемые случайные факторы в модели.

Данные, использованные в данном исследовании, главным образом получены из следующих источников.

— Международное энергетическое агентство (IEA), Всемирный банк, Статистическое управление ООН и национальные статистические ежегодники Китая и России.

— Объем выбросов CO_2 в Китае: данные взяты из баз данных Our World in Data и CEIC, охватывают период с 2000 по 2023 годы.

— ВВП на душу населения (GDP_{pc} / долл. США): данные получены с сайта CEIC.

— Структура экономики (IS) в Китае: доля третичного сектора в валовом внутреннем продукте (ВВП) (в %), данные представлены в «Китайском статистическом ежегоднике», опубликованном Национальным статистическим управлением Китая.

— Доля ископаемых источников энергии (FE) в Китае: доля ископаемого топлива в общем потреблении энергии страны.

— Доля возобновляемых источников энергии (RE) в Китае: доля возобновляемых источников энергии в общем потреблении первичной энергии. Данные по обоим показателям (FE и RE) взяты из «Китайского статистического ежегодника», опубликованного Национальным статистическим управлением Китая.

— Объем выбросов CO_2 в России: данные взяты из базы данных CEIC.

— ВВП на душу населения (GDP_{pc} / долл. США) в России: данные предоставлены Всемирным банком.

— Структура экономики (IS) в России: доля третичного сектора в ВВП (в %), данные получены из официального статистического ежегодника, опубликованного Федеральной службой государственной статистики России.

— Доля ископаемых источников энергии (FE) в России: доля ископаемого топлива в общем потреблении энергии страны.

— Доля возобновляемых источников энергии (RE) в России: доля возобновляемых источников энергии в общем потреблении первичной энергии. Данные по обоим показателям (FE и RE) взяты из официального статистического ежегодника, опубликованного Федеральной службой государственной статистики России.

— Углеродный рынок (ST) в России: фиктивная переменная, значение 1 означает, что страна внедрила систему торговли углеродными квотами (Китай запустил пилотный проект торговли квотами на выбросы углерода в 2021 г.), значение 0 — отсутствие национальной углеродной системы (в России национальная система торговли углеродными квотами пока не создана).

Для оценки влияния различных переменных на углеродные выбросы, особенно для оценки эффективности реализации политики регулирования выбросов, в данном исследовании используется панельная регрессионная модель. Метод панельных данных позволяет учитывать одновременно временные и пространственные (по странам) аспекты, эффективно контролируя потенциальные смещения, вызванные различиями между странами. Первичный анализ выполняется с использованием метода обыкновенных наименьших квадратов для оценки панельных данных, что позволяет определить предельные эффекты на углеродные выбросы каждой независимой переменной. Кроме того, учитывая возможную эндогенность, в исследовании применяется метод инструментальных переменных, это актуально при оценке влияния систем торговли выбросами углерода.

Для решения проблемы возможной двунаправленной причинно-следственной связи между углеродным рынком и объемом углеродных выбросов в качестве инструментальных переменных используются исторические данные, такие как время появления углеродного рынка.

В данном исследовании сначала построена модель с фиксированными эффектами (Fixed Effects, FE), чтобы исключить неизменные различия между странами (например, географические факторы, институциональный контекст) и обеспечить более точное сравнение. Модель с фиксированными эффектами подходит для случаев, когда свободный член модели может различаться между странами и связан с объясняющими переменными. Одновременно использована модель со случайными эффектами (Random Effects, RE), которая предполагает, что индивидуальные эффекты являются случайными и не зависят от объясняющих переменных. Для выбора наиболее подходящей модели в работе проведен тест Хаусмана (Hausman test), который позволяет сравнить модели с фиксированными и случайными эффектами и определить, какая из них лучше соответствует данным.

В статье выдвигаются следующие гипотезы для анализа того, как такие факторы, как трансформация структуры экономики, политика в области энергетики и глобального управления климатом, совместно влияют на решение проблемы углеродных выбросов в двух странах.

Гипотеза 1 (H1). Трансформация структуры экономики оказывает значительное влияние на уменьшение выбросов углекислого газа, то есть трансформация китайской экономики в сторону сектора услуг и высокотехнологичных отраслей привела к меньшей, по сравнению с Россией, зависимости производства от энергии, в Китае более эффективно сокращаются выбросы углекислого газа.

Гипотеза 2 (H2). Изменения в энергетической политике оказывают различное влияние на регулирование выбросов углекислого газа, то есть энергетическая политика Китая больше ориентирована на развитие зеленой энергетики и сокращение выбросов через механизмы углеродного рынка, в то время как политика России по-прежнему зависит от ископаемых источников энергии и недостаточно нацелена на развитие зеленой энергетики.

Гипотеза 3 (H3). Международное сотрудничество в области глобального управления климатом оказывает различное влияние на регулирование выбросов углекислого газа в Китае и России, т. е. активная позиция Китая по международному управлению климатом способствует реализации национальной политики, в то время как в России из-за зависимости от интересов стейкхолдеров в области энергетики воздействие международного сотрудничества на реализацию политики в этой области остается слабым.

Результаты исследования

Результаты описательного статистического анализа данных о выбросах двуокиси углерода (CO₂) в Китае и России представлены в таблице 1, которая демонстрирует значительные различия и общие тенденции по рассматриваемым показателям двух стран. В частности, доли выбросов двуокиси углерода (CO₂) в общем уровне выбросов значительно различаются в Китае и в России. Среднегодовые выбросы CO₂ в Китае значительно превышают аналогичные показатели в России. В период с 2000 по 2023 г. выбросы двуокиси углерода в Китае колебались в диапазоне от 3 405,10 млн т. до 11 472,40 млн т., со средним значением 7 674,79 млн т. в год и стандартным отклонением 2 677,90 млн т., что свидетельствует о значительных колебаниях уровня выбросов.

Таблица 1

Описательная статистика переменных

Table 1

Descriptive Statistics of Variables

Страна		Китай				Россия				единица
variable	count	mean	std	min	max	mean	std	min	max	
CO ₂	24	76745	2678	3405	11472	1749	125	1545	1953	млн т
GDPpc	24	6007	4052	959	12662	9686	4381	1902	15929	\$
IS (%)	24	46.133	5.733	39.000	54.500	63.471	4.287	56.400	70.400	%
FE (%)	24	83.291	6.761	72.000	93.000	84.250	3.536	78.500	90.000	%
RE (%)	24	16.708	6.761	7.000	28.000	15.750	3.536	10.000	21.500	%
CT	24	0.125	0.338	0	1.000	0	0	0	0	%

Источник: составлено авторами.

За этот же период выбросы CO₂ в России, напротив, выросли с 1544,50 млн т. до 1952,60 млн т., среднее значение составило 1749,01 млн т. в год, а стандартное отклонение — всего 125,23 млн т., что указывает на относительно стабильный уровень выбросов в России.

Полученные результаты описательной статистики требуют детального анализа с точки зрения выявления закономерностей и статистических взаимосвязей между переменными.

Анализ коэффициента вариации показывает, что выбросы CO₂ в Китае демонстрируют высокую волатильность ($CV = 34,9\%$), что указывает на структурные изменения в экономике и энергетической политике в анализируемый период. В России коэффициент вариации выбросов CO₂ значительно ниже ($CV = 7,2\%$), что свидетельствует о стабильности углеродоемкой модели экономики.

Корреляционный анализ между ВВП на душу населения и выбросами CO₂ выявляет различные закономерности: в Китае наблюдается сильная положительная корреляция ($r = 0,89$), что подтверждает гипотезу о связи экономического роста с увеличением выбросов на этапе индустриализации. В России данная корреляция слабее ($r = 0,34$), что объясняется относительной стабилизацией промышленной структуры и меньшими темпами экономических трансформаций.

Статистический анализ структуры энергетики показывает обратную корреляцию между долей возобновляемых источников энергии и выбросами CO₂ в Китае ($r = -0,76$), тогда как в России эта зависимость выражена слабее ($r = -0,23$). Это указывает на различную эффективность энергетического перехода в двух странах.

В отношении валового внутреннего продукта на душу населения (GDP_{pc}) экономическое развитие Китая за последние два десятилетия демонстрирует очевидный рост. В 2000 г. ВВП на душу населения в Китае составлял 959 долл. США, а к 2023 г. увеличился до 12614 долл. США, с заметным среднегодовым ростом. Среднее значение составило 6006,96 долл. США на душу населения в год, а стандартное отклонение — 4051,81 долл. США. В рассматриваемый период, в отличие от Китая, Россия начала с более высокого уровня: в 2000 г. ВВП на душу населения составлял 1902 долл. США, а к 2023 г. увеличился до 13006 долл. США. Среднее значение составило 9686,21 долл. США на душу населения, а стандартное отклонение — 4380,82 долл.

США, что указывает на значительную экономическую волатильность.

В отношении структуры экономики (IS) доля третичного сектора в ВВП двух стран имеет заметные различия. В Китае доля третичного сектора увеличилась с 39 % в 2000 г. до 53,7 % в 2023 г., что демонстрирует явную тенденцию к оптимизации структуры экономики. Средняя доля третичного сектора в Китае составила 46,13 %, стандартное отклонение — 5,73 %. В то же время в России доля третичного сектора также продолжала расти, но с меньшими темпами. В 2000 г. этот показатель составлял 56,4 %, а в 2023 г. увеличился до 70,4 %. Структура экономики России остается относительно стабильной, со средним значением 63,47 % и стандартным отклонением 4,29 %.

В структуре энергопотребления доля ископаемых видов топлива (FE) в Китае и России остается высокой, однако структура энергопотребления Китая за последние два десятилетия демонстрирует некоторые изменения. Доля используемого в энергетике ископаемого топлива в Китае снизилась с 93 % в 2000 г. до 72 % в 2023 г., что отражает прогресс Китая в переходе к более устойчивой энергетике. В России изменения в доле ископаемого топлива были менее значительными, оставаясь выше 80 % (за исключением значения 2023 г., когда этот показатель составил 78,5 %), что свидетельствует о высокой степени зависимости энергетики от традиционных источников энергии. Что касается доли возобновляемых источников энергии (RE), то в России она увеличилась с 10 % в 2000 г. до 21,5 % в 2023 г., тогда как в Китае этот показатель вырос с 7 % до 28 % за тот же период. Хотя обе страны добились повышения доли возобновляемых источников энергии, темпы энергетического перехода у Китая в выше, чем у России.

Наконец, в формировании рынка углеродной торговли (CT) также есть различия между странами. Китай с 2011 г. постепенно запускал пилотные проекты торговли квотами на углеродные единицы, а в 2021 г. полностью развернул национальный углеродный рынок. К 2023 г. углеродный рынок Китая продолжал расширяться, и значение фиктивной переменной составляет 1, что свидетельствует о практически завершённом строительстве углеродного рынка. В отличие от соседа, Россия до сих пор не внедрила национальный рынок углеродной торговли. Значение фиктивной переменной для углеродного рынка России остаётся равным 0, что отражает отставание в поли-

тике создания углеродного рынка (Лещинская, 2023; Reshetnikova и др., 2023).

Подводя итог, можно отметить, что, хотя Китай и Россия демонстрируют различные особенности в таких аспектах, как выбросы углекислого газа, экономическое развитие, структура энергопотребления и трансформация отраслей, перед двумя странами стоят общие вызовы в области продвижения зелёного и низкоуглеродного перехода. Китай достиг значительного прогресса в сокращении выбросов углекислого газа и трансформации структуры энергопотребления, тогда как Россия до сих пор находится в зависимости от традиционных источников энергии. Это подчёркивает необходимость усиления низкоуглеродной политики для решения глобальных вызовов, связанных с изменением климата.

Как отмечалось выше, выбросы углекислого газа являются одним из ключевых факторов, способствующих глобальным изменениям климата, особенно в странах с быстрым экономическим развитием, где связь между выбросами, экономическим ростом, структурой энергетики и политикой проявляется наиболее явно. Для анализа механизмов влияния экономики, структуры энергопотребления и политики на выбросы углекислого газа в Китае и России проведен регрессионный анализ и создана модель, направленная на изучение воздействия ключевых переменных (ВВП

на душу населения, доля ископаемого топлива и доля возобновляемых источников энергии) и контрольных переменных (структура отраслей и углеродный рынок) на выбросы CO₂. Результаты базовой регрессии представлены в таблице 2.

Статистическая значимость полученных коэффициентов подтверждается t-статистиками. Для Китая t-статистика коэффициента GDPpc составляет 6,48 (модель 4), что значительно превышает критическое значение при $\alpha = 0,01$. F-статистика модели равна 89,4 ($p < 0,001$); это подтверждает общую значимость регрессионной модели.

Тест Дарбина-Уотсона ($DW = 1,89$) указывает на отсутствие автокорреляции остатков в модели для Китая. Для России аналогичные показатели составляют: F-статистика = 23,7 ($p < 0,05$), $DW = 2,01$.

Тест на гетероскедастичность Уайта не выявил нарушений предпосылок регрессионного анализа ($p > 0,05$ для обеих стран), что подтверждает надежность полученных оценок.

Колонки (1) и (2) представляют регрессионный анализ без включения контрольных переменных: в колонке (1) не учитываются никакие фиксированные эффекты, в то время как в колонке (2) зафиксированы региональные и временные эффекты. В колонках (3) и (4) добавлены все контрольные переменные: в колонке (3) фиксированные эффекты отсутствуют, а в колонке (4)

Таблица 2

Результаты базовой регрессии

Table 2

Results of the Baseline Regression

Страна	Китай				Россия			
	CO ₂							
Variable	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)
GDPpc	0.591 (0.046)	0.483 (0.047)	0.499 (0.073)	0.415 (0.064)	0.010 (0.017)	0.018 (0.018)	0.038 (0.026)	0.049 (0.026)
FE	0.042 (0.003)	-1.776 (0.461)	0.052 (0.007)	-1.642 (0.516)	0.071 (0.001)	-0.004 (0.002)	0.192 (0.084)	-0.176 (0.106)
RE	0.024 (0.009)	-1.876 (0.482)	0.061 (0.024)	-1.719 (0.546)	0.089 (0.004)	0.004 (0.001)	0.544 (0.316)	0.161 (0.097)
IS		0.092 (0.023)	-0.015 (0.010)	-0.008 (0.010)		0.004 (0.000)	-0.279 (0.193)	-0.300 (0.185)
CT		0.005 (0.022)	-0.087 (0.060)	-0.079 (0.050)		-0.030 (0.019)	0.000 (0.000)	-0.000 (0.000)
year_fixed_effect	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes
region_fixed_effect_Region	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes
R ²	0.985	0.991	0.985	0.991	0.82	0.832	0.829	0.845
Observations	24	24	24	24	24	24	24	24

Примечания: означает $p < 0,01$; означает $p < 0,05$; означает $p < 0,1$; в скобках указана устойчивость стандартной ошибки. Источник: составлено авторами.

зафиксированы региональные и временные эффекты. Результаты регрессионного анализа показывают, что существует значимая положительная корреляция между ВВП на душу населения и выбросами углекислого газа в Китае. В моделях с 1 по 4 коэффициенты регрессии для GDP_{pc} варьируются в диапазоне от 0,59 до 0,48 и статистически значимы на уровне 1 %. Экономический рост сопровождается значительным увеличением выбросов углекислого газа, что отражает влияние быстрого развития экономики на рост выбросов. Доля ископаемой энергии (FE) оказывает значительное положительное влияние на выбросы углекислого газа, с коэффициентами в диапазоне от 0,04 до 0,03, тогда как доля возобновляемой энергии (RE) оказывает отрицательное влияние на выбросы. Это свидетельствует о том, что структура энергоресурсов в Китае играет важную роль в выбросах углекислого газа, но эффект сокращения выбросов за счет возобновляемых источников энергии пока недостаточно реализован (Сюй Бинь, 2019). Трансформация отраслевой структуры (IS) оказывает значительное отрицательное влияние на выбросы углекислого газа, особенно после введения системы торговли углеродными квотами (СТ), что приводит к дальнейшему сокращению выбросов. Это подчеркивает положительное влияние политических интервенций. В то же время результаты регрессии для России показывают, что положительное влияние ВВП на душу населения на выбросы углекислого газа значительно слабее, чем в Китае, с коэффициентами в диапазоне от 0,01 до 0,04. Это может быть связано с более медленным темпом экономического роста и энергозатратной отраслевой структурой России (Дин, 2024). Доля ископаемой энергии (FE) оказывает значительное положительное влияние на выбросы углекислого газа, тогда как влияние доли возобновляемой энергии (RE) остается ограниченным. Это указывает на слабую способность энергетической структуры России сдерживать рост выбросов углекислого газа.

В моделях с фиксированными эффектами влияние отраслевой структуры (IS) на выбросы углекислого газа является статистически не значимым, а система торговли углеродными квотами (СТ), хотя и оказывает отрицательное воздействие, демонстрирует низкий уровень значимости. Это указывает на необходимость дальнейшего совершенствования российской системы торговли углеродными квотами для повышения ее эффективности в снижении выбросов.

Сравнение объяснительной способности моделей показывает, что скорректированный R^2 в регрессионных моделях Китая зна-

чительно увеличивается после учета фиксированных эффектов и контрольных переменных, достигая 0,99 (модель 2) и 0,99 (модель 4). Это свидетельствует о высокой объяснительной способности фиксированных эффектов и контрольных переменных в отношении выбросов углекислого газа. В то же время увеличение скорректированного R^2 в моделях России менее значительное: 0,84 (модель 2) и 0,87 (модель 4). Это отражает более слабую объяснительную способность контрольных переменных в отношении выбросов углекислого газа, что может быть связано с недостаточной реализацией политических мер по ограничению выбросов и ограниченной эффективностью структурной перестройки отраслей.

Комплексный анализ выявил значительные различия между Китаем и Россией в отношении взаимосвязи экономического развития и выбросов углекислого газа, эффекта снижения выбросов за счет изменений в структуре энергетической, а также эффективности функционирования углеродных рынков. Экономический рост Китая оказывает более сильное влияние на увеличение выбросов углекислого газа, влияние доли ископаемой энергии на выбросы в Китае также значительно выше, чем в России. В то же время роль возобновляемых источников энергии в сокращении выбросов остается ограниченной в обеих странах. Адаптация отраслевой структуры и развитие углеродного рынка повышают эффективность сокращения выбросов в Китае, тогда как аналогичная политика в России требует дальнейшего совершенствования. Эти результаты предоставляют важную теоретическую основу для оптимизации политики сокращения выбросов углекислого газа в обеих странах, особенно в аспектах оптимизации структуры энергоресурсов и совершенствования углеродного рынка при переходе к низкоуглеродной экономике.

Выводы и рекомендации

Полученные в ходе регрессионного анализа результаты позволяют количественно обосновать выявленные различия между странами и сформулировать конкретные рекомендации на основе эмпирических данных. В данном исследовании путем сравнения показателей выбросов углекислого газа в Китае и России проанализирована взаимосвязь между трансформацией структуры экономики, изменениями в энергетической политике и политикой в области глобального управления климатом. Результаты показывают, что, несмотря на значительные различия между двумя странами

в этапах экономического развития, структуре энергоресурсов и реализации политики в области сокращения выбросов углекислого газа, опыт выбора путей и повышения эффективности политики в борьбе с глобальными изменениями климата может быть взаимовыгодным.

Проведенный регрессионный анализ выявил существенные различия в характере влияния экономического развития на объемы выбросов CO₂ в исследуемых странах. Для Китая характерны коэффициенты влияния ВВП на душу населения на выбросы углекислого газа в диапазоне от 0,415 до 0,591, при этом все значения статистически значимы на уровне 1%. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что увеличение ВВП на душу населения на 1000 долларов США сопровождается ростом выбросов CO₂ в объеме 415–591 млн т. В российских условиях аналогичный показатель существенно ниже (0,010–0,049), что отражает менее интенсивную взаимосвязь между экономическим ростом и увеличением выбросов.

Исследование трансформации отраслевой структуры (IS) в Китае выявило отрицательные коэффициенты (от -0,008 до -0,015), что служит подтверждением гипотезы H1 о благоприятном воздействии перехода к сервисной экономике и высокотехнологичным отраслям на сокращение выбросов. В российских условиях влияние структурных изменений на выбросы оказалось статистически незначимым, что может объясняться замедленными темпами экономической модернизации и сохранением преобладания энергоемких секторов экономики.

Полученные эмпирические данные служат подтверждением гипотезы H2 о дифференцированном характере влияния энергетической политики на регулирование выбросов. В китайских условиях показатель влияния доли ископаемых источников энергии (FE) демонстрирует положительные значения (0,042–0,052), что подтверждает наличие прямой зависимости между использованием традиционных энергоносителей и ростом выбросов. Особого внимания заслуживает тот факт, что при включении контрольных переменных данный коэффициент приобретает отрицательные значения (от -1,642 до -1,776), что свидетельствует об эффективности комплексного подхода в энергетической политике в Китае.

В российских условиях коэффициент влияния доли ископаемого топлива варьируется от положительных значений (0,071–0,192) до отрицательных (-0,176), демонстрируя меньшую стабильность по сравнению с китайскими показателями. Доля возобнов-

ляемых источников энергии (RE) в России характеризуется положительными коэффициентами (0,004–0,544), что может указывать на недостаточную результативность существующих программ развития возобновляемой энергетики или наличие компенсационных эффектов в энергетической системе.

Анализ функционирования углеродных рынков (СТ) подтверждает гипотезу H3 о различном характере воздействия инструментов международного управления климатом на национальную политику. В китайских условиях система торговли углеродными квотами демонстрирует отрицательные коэффициенты (от -0,079 до -0,087), при этом статистическая значимость варьируется в зависимости от выбранной спецификации модели. Полученные результаты свидетельствуют о постепенном повышении эффективности рыночных механизмов регулирования выбросов.

В российских условиях переменная углеродного рынка сохраняет нулевые значения на протяжении всего анализируемого периода, что количественно подтверждает отсутствие национальной системы торговли квотами и ограниченное участие страны в глобальных механизмах управления климатом. Сравнение коэффициентов детерминации (R²) для Китая (0,991) и России (0,845) указывает на более высокую предсказуемость и системность китайской климатической политики.

Перед лицом общих вызовов глобального изменения климата, несмотря на различия в трендах выбросов углекислого газа, обе страны сталкиваются с серьезными испытаниями, связанными с экономической трансформацией и оптимизацией энергетической структуры.

На основе сравнительного анализа в данном исследовании предлагаются следующие рекомендации, направленные на достижение целей низкоуглеродного развития в обеих странах, а также на содействие углублению сотрудничества и глобального управления климатом. Анализ полученных количественных оценок и выявленных закономерностей позволяет сформулировать следующие практические рекомендации.

1. Kumay. Развитие дифференцированного секторального углеродного регулирования.

Учитывая выявленный коэффициент влияния ВВП на выбросы CO₂ (0,415–0,591), предлагается внедрить дифференцированную систему углеродного налогообложения: для высокотехнологичных отраслей с низкой углеродоемкостью установить ставку 30 юаней

за тонну CO₂, для традиционных энергоемких отраслей — 80 юаней за тонну CO₂. Принимая во внимание отрицательный коэффициент структурной трансформации (-0,015), целесообразно ввести льготные углеродные квоты для предприятий сферы услуг и IT-сектора в размере 20 % от базового норматива.

2. Россия. Формирование комплексной системы учета лесных углеродных активов.

Исходя из выявленной слабой корреляции между ВВП и выбросами CO₂ в России (коэффициент 0,010–0,049), рекомендуется разработать национальную программу монетизации лесных углеродных активов с целевым объемом 150 млрд р. к 2028 г. и создать единую систему учета лесных углеродных кредитов с возможностью их реализации на международных углеродных рынках, что позволит компенсировать замедленные темпы энергетического перехода за счет природных поглотителей углерода.

3. Российско-китайское сотрудничество. Реализация пилотного проекта транс-

граничной торговли лесными углеродными кредитами.

Предполагается, что до 2027 г. будет запущен совместный российско-китайский проект торговли лесными углеродными кредитами объемом 50 млн т. CO₂-эквивалента, в рамках которого российские лесные активы будут использоваться для компенсации промышленных выбросов китайских предприятий в соответствии с их корпоративными программами достижения углеродной нейтральности.

Результаты данного исследования представляют теоретическую основу для разработки политики сокращения выбросов углекислого газа и переходу к низкоуглеродной экономике Китая и России. Через синергетическое продвижение трансформации структуры экономики, изменений в энергетической политике и политики глобального управления климатом Китай и Россия смогут не только достичь собственных целей по низкоуглеродному развитию, но и внести значительный вклад в глобальную «зеленую» трансформацию.

Список источников

- Брижанин, В. В., Филиппова, Р. В., Киселева, С. П., Остах, С. В. (2023). Перспективы углеродного регулирования в России и повышение ответственности и вовлеченности предприятий в деятельность по сокращению выбросов парниковых газов. *Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова*, 20(2), 130–142. <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2023-2-130-142>
- Еремин, И. А., Попова, Е. А. (2023). Методика перехода к низкоуглеродной экономике компаний ТЭК России. *Вестник Алтайской академии экономики и права*, (1), 43–48. <https://doi.org/10.17513/vaael.2666>
- Котова, Е. В. (2024). Совершенствование правового регулирования в области снижения выбросов парниковых газов в Российской Федерации. *Теоретическая и прикладная юриспруденция*, (3), 122–132. <https://doi.org/10.22394/3034-2813-2024-3-122-132>
- Лещинская, А. А. (2023). Правовое регулирование рынка углеродных единиц в Российской Федерации. *Правовой энергетический форум*, (4), 52–59. <https://doi.org/10.61525/S231243500027219-8>
- Разумнова, Л. Л., Мигалева, Т. Е. (2022). Политика сокращения глобальных выбросов метана в достижении углеродной нейтральности: интересы России. *Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова*, 19(2(122)), 21–35. <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2022-2-21-35>
- Bussaban, K., Kularbphetong, K., Raksuntorn, N., & Boonseng, C. (2024). Prediction of CO₂ emissions using machine learning. *Edelweiss Applied Science and Technology*, 8(4), 1–11. <https://doi.org/10.55214/25768484.v8i4.1097>
- Coase, R. H. (1960). The problem of social cost. *Journal of Law and Economics*, (3), 1–44. <https://doi.org/10.1086/466560>
- Dawar, G., Nagariya, R., Bhatia, S., Dhingra, D., Agrawal, M., & Dhaundiya, P. (2024). Can financial markets help attain carbon goals? Evidence from systematic literature review, bibliometric analysis and topic modelling. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, <https://doi.org/10.1108/sampj-05-2023-0319>
- Deng, J. (2024). A review of global carbon emission management studies. *Eco Cities*, 5(1), 2753. <https://doi.org/10.54517/ec.v5i1.2753>
- Ellerman, A. D., Convery, F. J., & de Perthuis, C. (2010). *Pricing carbon: The European Union emissions trading scheme*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139042765>
- Lebedeva, M. A. (2022). Decarbonization problems of the Russian economy. *Problems of Territory's Development*, 26(2), 57–72. <https://doi.org/10.15838/ptd.2022.2.118.5>
- Li, Z. (2024). Regression model-based CO₂ emission prediction and feature importance analysis between developed and developing countries. *Applied and Computational Engineering*, 30, 230–237. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/30/20230106>
- Pettersson, F., Maddison, D., Acar, S., & Söderholm, P. (2014). Convergence of carbon dioxide emissions: a review of the literature. *International Review of Environmental and Resource Economics*, 7(2), 141–178. <https://doi.org/10.1561/101.00000059>

- Reshetnikova, L., Ovechkin, D., Devyatkov, A., Chernova, G., & Boldyreva, N. (2023). Carbon Emissions and Stock Returns: The Case of Russia. *Journal of Risk and Financial Management*, 16(8), 370. <https://doi.org/10.3390/jrfm16080370>
- Udara Willhelm Abeydeera, L. H., Wadu Mesthrige, J., & Samarasinghalage, T. I. (2019). Global research on carbon emissions: A scientometric review. *Sustainability*, 11(14), 3972. <https://doi.org/10.3390/su11143972>
- Wang, H., & Fujita, T. (2023). A Review of Research on Embodied Carbon in International Trade. *Sustainability*, 15(10), 7879. <https://doi.org/10.3390/su15107879>
- 龚银银, 张永庆, 罗婷 [Гун, И., Чжан, Ю., Ло, Т.] (2025). 中国长三角城市群碳排放效率与经济高质量发展耦合协调研究 [Исследование координации взаимодействия между эффективностью выбросов углерода и высококачественным экономическим развитием в городской агломерации дельты реки Янцзы]. *长江流域资源与环境*. [Ресурсы и окружающая среда в бассейне реки Янцзы], (2), 295–308. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1320.X.20241219.1545.004.html> (дата обращения: 25.01.2025).
- 丁超 [Дин, Ч.] (2024). 俄罗斯推进经济现代化的财政逻辑与路径选择 [Фискальная логика России и выбор пути содействия экономической модернизации]. *社会发展研究* [Исследования социального развития], (04), 10–14. <https://mqikan.cqvip.com/article/ArticleDetail?id=7113606940> (дата обращения: 25.01.2025).
- 徐斌, 陈宇芳, 沈小波 [Сюй, Б., Чэнь, Ю., Шэнь, С.] (2019). 清洁能源发展、二氧化碳减排与区域经济增长 [Развитие чистой энергетики, сокращение выбросов углекислого газа и рост региональной экономики]. *经济研究* [Экономические исследования], (7), 188–202.
- 李晓敏, 刘世哲, 薛栋 [Ли, С., Лю, Ш., Сюэ, Д.] (2024). 可再生能源发展对碳排放的影响效应研究 [Исследование влияния развития возобновляемой энергетики на выбросы углерода]. *软科学* [Гуманитарные науки], 38(12(300)), 86–92. <http://doi.org/10.13956/j.ss.1001-8409.2024.12.11>
- 全世文, 袁静婷 [Цюань, Ш., Юань, Ц.] (2019). 我国经济增长与碳排放之间的变协整与阈值效应 [Исследование взаимосвязи экономического роста и углекислых выбросов в Китае: эффект изменения и пороговое воздействие]. *改革* [Реформа], (2), 37–44.
- 张翼, 张士强 [Чжан, И, Чжан, Ш.] (2020). 中国与美国碳排放 ЕКС 分析及因素分解 [Анализ ЕКС углекислых выбросов в Китае и США и факторный анализ]. *统计与决策* [Статистика и принятие решений], 36(20(560)), 153–156. <https://doi.org/10.13546/j.cnki.tjyjc.2020.20.033>
- 赵栩婕, 王文军, 谢鹏程, 蔡国田 [Чжао, С., Ван, В., Се, П., Цай, Г.] (2024). 可持续发展与碳排放脱钩模型构建与应用 [Построение и применение модели декарпинга между устойчивым развитием и выбросами углерода]. *资源科学* [Наука о ресурсах], 46(11), 2194–2209. <https://doi.org/10.18402/resci.2024.11.08>
- 赵婷婷, 姚婷 [Чжао, Т., Яо, Т.] (2024). 经济发展视角下产业结构优化对中国碳排放的影响 [Влияние оптимизации структуры промышленности на выбросы углерода в Китае с точки зрения экономического развития]. *科技和产业* [Наука, технологии и промышленность], 24(12), 16–23.
- 陈加鹏, 刘丹丹, 徐蔼婷 [Чэнь, Ц., Лю, Д., Сюй, А.] (2024). 产业结构升级会降低碳排放强度吗? — 基于绿色税收视角的考察 [Will industrial-structure upgrading reduce carbon-emission intensity? — A green tax perspective]. *中国环境管理* [Управление охраной окружающей среды в Китае], (04), 80–90. <https://doi.org/10.16868/j.cnki.1674-6252.2024.04.080>
- 于向宇, 方 冉, 吴步尘, 李跃 [Ю, С., Фанг, Р., У, Б., Ли, Ю.] (2024). 能源产能空间集聚的碳排放效应 [Carbon-emission effects of spatial concentration of energy capacity]. *中国人口·资源与环境* [Китайское население, ресурсы и окружающая среда], 34(10), 45–56.
- 杨镡泽, 邓琪 [Ян, И., Дэн, К.] (2024). 产业结构升级对碳排放的影响研究 — 基于绿色全要素生产率视角 [Study on the impact of industrial-structure upgrading on carbon emissions — from the green total factor productivity perspective]. *哈尔滨工业大学学报(社会科学版)* [Журнал Харбинского технологического университета (социальные науки)], 26(05), 153–160. <https://doi.org/10.16822/j.cnki.hitskb.2024.05.017>

References

- Brizhanin, V.V., Filippova, R.V., Kiseleva, S.P., & Ostakh, S.V. (2023). Prospects of Carbon Regulation in Russia and Raising Enterprise Responsibility and Involvement in Work Aimed at Cutting Green-House Gas Emissions. *Vestnik Rossiiskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G. V. Plekhanova* [Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics], 20(2), 130–142. <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2023-2-130-142> (In Russ.)
- Bussaban, K., Kularbphetong, K., Raksuntorn, N., & Boonseng, C. (2024). Prediction of CO2 emissions using machine learning. *Edelweiss Applied Science and Technology*, 8(4), 1–11. <https://doi.org/10.55214/25768484.v8i4.1097>
- Chen, J., Liu, D., & Xu, A. (2024). Chanyejiiegou shengji hui jiangdi tan paifang qiangdu ma — jiyu lüse shuishou shijiao de kaocha [Will Industrial Structure Upgrading Reduce Carbon Emission Intensity: Investigation from the Perspective of Green Tax]. *Zhōng guó huán jìng guān lù* [Chinese Journal of Environmental Management], (04), 80–90. <https://doi.org/10.16868/j.cnki.1674-6252.2024.04.080> (In Chinese)
- Coase, R. H. (1960). The problem of social cost. *Journal of Law and Economics*, 3, 1–44. <https://doi.org/10.1086/466560>
- Dawar, G., Nagariya, R., Bhatia, S., Dhingra, D., Agrawal, M., & Dhaundiya, P. (2024). Can financial markets help attain carbon goals? Evidence from systematic literature review, bibliometric analysis and topic modelling. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*. <https://doi.org/10.1108/sampj-05-2023-0319>
- Deng, J. (2024). A review of global carbon emission management studies. *Eco Cities*, 5(1), 2753. <https://doi.org/10.54517/ec.v5i1.2753>

- Ding, C. (2024). Eluosi tuijin jingji xiandaihua de caizheng luoji yu lujing xuanze [Fiscal Logic and Path Choice for Russia's Economic Modernization]. *Shehui fazhan yanjiu [Social Development Research]*, (04), 10–14. <https://mqikan.cqvip.com/article/ArticleDetail?id=7113606940> (Date of access: 25.01.2025). (In Chinese)
- Ellerman, A. D., Convery, F. J., & de Perthuis, C. (2010). Pricing carbon: The European Union emissions trading scheme. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139042765>
- Eremin, I. A., & Popova, E. A. (2023). Methodology of low-carbon economy transition of Russian fuel and energy complex companies. *Vestnik Altaiskoi akademii ekonomiki i prava [Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law]*, (1), 43–48. <https://doi.org/10.17513/vaael.2666> (In Russ.)
- Gong, Y., Zhang, Y., & Luo, T. (2025). Zhongguo changsanjiao chengshiqun tan paifang xiaolu yu jingji gaozhiliang fazhan ouhe xietiao yanjiu [Coupling Coordination between Carbon Emission Efficiency and High-quality Economic Development in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration]. *Changjiangliuyu ziyuan yu huanjing [Resources and Environment in the Yangtze Basin]*, (2), 295–308. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1320.X.20241219.1545.004.html> (In Chinese)
- Kotova, E. V. (2024). Improving Legal Regulation in the Field of Reducing Greenhouse Gas Emissions in the Russian Federation. *Teoreticheskaya i prikladnaya yurisprudentsiya [Theoretical and Applied Law]*, (3), 122–132. <https://doi.org/10.22394/3034-2813-2024-3-122-132> (In Russ.)
- Lebedeva, M. A. (2022). Decarbonization problems of the Russian economy. *Problems of Territory's Development*, 26(2), 57–72. <https://doi.org/10.15838/ptd.2022.2.118.5>
- Leshchinskaya, A. A. (2023). Legal regulation of the carbon credit market in the Russian Federation. *Pravovoi energeticheskii forum [Energy Law Forum]*, (4), 52–59. <https://doi.org/10.61525/S231243500027219-8> (In Russ.)
- Li, X., Liu, S., & Xue, D. (2024). Ke zaishengnengyuan fazhan dui tan paifang de yingxiang xiaoying yanjiu [The Impact of Renewable Energy Development on Carbon Emissions]. *Ruanhexue [Soft Science]*, 38(12(300)), 86–92. <http://doi.org/10.13956/j.ss.1001-8409.2024.12.11> (In Chinese)
- Li, Z. (2024). Regression model-based CO₂ emission prediction and feature importance analysis between developed and developing countries. *Applied and Computational Engineering*, 30, 230–237. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/30/20230106>
- Pettersson, F., Maddison, D., Acar, S., & Söderholm, P. (2014). Convergence of carbon dioxide emissions: a review of the literature. *International Review of Environmental and Resource Economics*, 7(2), 141–178. <https://doi.org/10.1561/101.00000059>
- Quan, S., & Yuan, J. (2019). Woguo jingji zengzhang yu tan paifang zhijian de bian xie zheng yu yuzhi xiaoying [The co-integration and threshold effects between economic growth and carbon emissions in China]. *Gaige [Reform]*, (2), 37–44. (In Chinese)
- Razumnova, L. L., & Migaleva, T. E. (2022). The Role of Reducing Global Methane Emissions in Achieving Carbon Neutrality: Russia's Interests. *Vestnik Rossiiskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G. V. Plekhanova [Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics]*, 19(2(122)), 21–35. <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2022-2-21-35> (In Russ.)
- Reshetnikova, L., Ovechkin, D., Devyatkov, A., Chernova, G., & Boldyreva, N. (2023). Carbon Emissions and Stock Returns: The Case of Russia. *Journal of Risk and Financial Management*, 16(8), 370. <https://doi.org/10.3390/jrfm16080370>
- Udara Willhelm Abeydeera, L. H., Wadu Mesthrige, J., & Samarasinghalage, T. I. (2019). Global research on carbon emissions: A scientometric review. *Sustainability*, 11(14), 3972. <https://doi.org/10.3390/su11143972>
- Wang, H., & Fujita, T. (2023). A Review of Research on Embodied Carbon in International Trade. *Sustainability*, 15(10), 7879. <https://doi.org/10.3390/su15107879>
- Xu, B., Chen, Y., & Shen, X. (2019). Qingjie nengyuan fazhan eryanguatan jianpai yu quyu jingji zengzhang [Clean Energy Development, Carbon Dioxide Emission Reduction and Regional Economic Growth]. *Jingji yanjiu [Economic Research Journal]*, (7), 188–202. (In Chinese)
- Yang, Y., & Deng, K. (2024). Chanyejiégou shengji dui tan paifang de yingxiang yanjiu — jiyu lüshe quan yaosu shengchanlü shijiao [The Impact of Industrial Structure Upgrading on Carbon Emissions: Based on the Green Total Factor Productivity]. *Haerbingongyedaxue xuebao (shehuikexue ban) [Journal of Harbin Institute of Technology (Social Sciences Edition)]*, 26(05), 153–160. <https://doi.org/10.16822/j.cnki.hitskb.2024.05.017> (In Chinese)
- Yu, X., Fang, R., Wu, B., & Li, Y. (2024). Nengyuan channeng kongjian jiju de tan paifang xiaoying [Impact of spatial agglomeration of energy production capacity on carbon emissions]. *Zhongguo renkou ziyuan yu huanjing [China Population, Resources and Environment]*, 34(10), 45–56. (In Chinese)
- Zhang, Y., & Zhang, S. (2020). Zhongguo yu meiguo tan paifang EKC fenxi ji yinsu fenjie [EKC analysis and factor decomposition of carbon emissions in China and the United States]. *Tongji yu juece [Statistics & Decision]*, 36(20(560)), 153–156. <https://doi.org/10.13546/j.cnki.tjyc.2020.20.033> (In Chinese)
- Zhao, T., & Yao, T. (2024). Jingji fazhan shijiao xia chanyejiégou youhua dui zhongguo tan paifang de yingxiang [Impact of Industrial Structure Optimization on China's Carbon Emissions from the Perspective of Economic Development]. *Keji he chanye [Science Technology and Industry]*, 24(12), 16–23. (In Chinese)
- Zhao, X., Wang, W., Xie, P., & Cai, G. (2024). Ke chixu fazhan yu tan paifang tuogou moxing goujian yu yingyong [Construction and application of decoupling model between sustainable development and carbon emissions]. *Ziyuan kexue [Resources Science]*, 46(11), 2194–2209. <https://doi.org/10.18402/resci.2024.11.08> (In Chinese)

Информация об авторах

Гао Жун — аспирант, заместитель декана, Сианьский университет Фаньи; <https://orcid.org/0000-0002-7642-2053> (Китайская Народная Республика, 710000, г. Сиань, ул. Тай-Би, 123; e-mail: 1074075690@qq.com).

Семьячков Александр Иванович — доктор геолого-минералогических наук, профессор, руководитель Центра природопользования и геоэкологии, Институт экономики УрО РАН; Scopus Author ID: 6504491717; <https://orcid.org/0000-0002-3352-2863> (Российская Федерация, 620014, г. Екатеринбург, ул. Московская, 29; e-mail: a.semyachkov@mail.ru).

Сан Янфан — доктор наук, научный руководитель PhD, Институт географических наук и природных ресурсов Китайской академии наук; <https://orcid.org/0000-0001-6770-9311> (Китайская Народная Республика, 100101, г. Пекин, улица ДаТун, район Чаоян, 11-й корпус; e-mail: sangyf@igsnr.ac.cn).

About the authors

Rong Gao — PhD, Associate Dean Xi'an FanYi University; <https://orcid.org/0000-0002-7642-2053> (123, Taiyigong St., Xi'an, 710000, People's Republic of China; e-mail: 1074075690@qq.com).

Aleksandr I. Semyachkov — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Professor, Head of the Nature Management and Geoecology Center, Institute of Economics of the Ural Branch of RAS; Scopus Author ID: 6504491717; <https://orcid.org/0000-0002-3352-2863> (29, Moskovskaya St. Ekaterinburg, 620014, Russian Federation; e-mail: a.semyachkov@mail.ru).

Yangfang Sang — Doctor of Science, Researcher, PhD Supervisor, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences; <https://orcid.org/0000-0001-6770-9311> (People's Republic of China, 100101, Beijing, Datun Street, Chaoyang District, Building 11; e-mail: sangyf@igsnr.ac.cn).

Использование средств ИИ

Авторы заявляют о том, что при написании этой статьи не применялись средства генеративного искусственного интеллекта.

Use of AI tools declaration

All authors declare that they have not used Artificial Intelligence (AI) tools for the creation of this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest.

Дата поступления рукописи: 29.01.2025.

Прошла рецензирование: 20.03.2025.

Принято решение о публикации: 27.06.2025.

Received: 29 Jan 2025.

Reviewed: 20 Mar 2025.

Accepted: 27 Jun 2025.