

DOI: 10.26794/2587-5671-2025-29-04-177-195
 УДК 336.23(045)
 JEL Q01

Ключевые детерминанты установления и изменения цен на рынке углеродных квот

К.В. Ордов, Н.А. Зацарная, Н.Р. Денисенко

Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Поскольку объемы выбросов парниковых газов в атмосферу permanently возрастают, страны, разделяющие принципы устойчивого развития, стремятся стимулировать снижение объемов эмиссии посредством введения системы квотирования выбросов и формирования рынка углеродных единиц. В результате одним из базовых факторов, влияющих на объем выбросов парниковых газов, становится цена углеродной единицы, а факторы, ее определяющие, приобретают особую **актуальность**. **Объектом** исследования являются факторы и условия формирования цен на углеродные единицы как инструменты компенсации объемов эмиссии парниковых газов. **Цель** исследования заключается в выявлении ключевых детерминант установления и изменения цен на углеродные единицы. В процессе написания статьи использованы как общенаучные **методы** исследования: анализ, синтез, обобщение и классификация данных, – так и экономико-математические методы, в том числе корреляционно-регрессионный анализ. Исследованы европейская, новозеландская и корейская системы торговли квотами. Сделан **вывод** о наличии кластеров волатильности на их рынках углеродных единиц. Выявлены ключевые детерминанты волатильности цен на углеродные единицы и факторы, способствующие их росту: цена на сырую нефть, газ, уголь, газولين; шоки, вызывающие рецессию в экономике; общий объем квот на выбросы углерода на рынке; объем бесплатно распределяемых квот; число и перечень отраслей, охваченных системой торговли квотами. Определены и обоснованы этапы формирования цены на углеродные единицы для целей сокращения объемов выбросов парниковых газов. Полученные в ходе выполнения исследования результаты и разработанные рекомендации направлены на создание рынка углеродных единиц в России и повышение его эффективности в сравнении с существующими практиками. Они будут использованы при проведении дальнейших фундаментальных исследований, а также практических разработок в области торговли углеродными единицами.

Ключевые слова: рынок углеродных единиц; биржевая торговля углеродными единицами; углеродные единицы; учет эмиссии парниковых газов; рынок парниковых газов; декарбонизация; устойчивое развитие; СТК

Для цитирования: Ордов К.В., Зацарная Н.А., Денисенко Н.Р. Ключевые детерминанты установления и изменения цен на рынке углеродных квот. *Финансы: теория и практика*. 2025;29(4):177-195. DOI: 10.26794/2587-5671-2025-29-4-177-195

Key Determinants of Price Setting and Change in the Carbon Market

K.V. Ordov, N.A. Zatsarnaya, N.R. Denisenko

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

As greenhouse gas emissions are increasing year by year, both developed and developing countries are seeking to incentivize their reduction through emissions trading. Therefore, the price of a carbon unit becomes a driver of change in greenhouse gas emissions. In this regard, understanding how the price of a carbon unit is formed becomes particularly **relevant**. The **object** of the study is the combination of factors and conditions of formation of prices for carbon credits as tools for reducing greenhouse gas emissions. The **purpose** of the study is to identify the key determinants of establishing and changing the price of carbon credits. In the process of writing the article we used both general scientific research **methods**: analysis, synthesis, generalization and classification of data, and special economic and mathematical **methods**, including correlation and regression analysis. The article investigated the European, New Zealand and Korean carbon unit trading systems. It **was concluded** that there are clusters of volatility in their markets of carbon units. The key determinants of carbon price volatility and factors contributing to their growth were identified: the price of crude oil, gas, coal, gasoline; shocks causing recession; the total volume of carbon emission quotas on the market; the volume of free allocated quotas; the number and list of industries covered by the system of trading in quotas. As a **result**, the stages of

forming a price for carbon units for the purpose of reducing greenhouse gas emissions were determined and justified. The results obtained in the course of the study and the recommendations developed are aimed at creating a market for carbon units in Russia and improving its efficiency in comparison with existing practices. The results obtained will be used for further fundamental research and practical developments in the field of greenhouse gas emissions trading.

Keywords: carbon market; carbon unit exchange trading; carbon units; greenhouse gas emission accounting; greenhouse gas market; decarbonization; sustainable development; ETS

For citation: Ordov K.V., Zatsarnaya N.A., Denisenko N.R. Key determinants of price setting and change in the carbon market. *Finance: Theory and Practice*. 2025;29(4):177-195. DOI: 10.26794/2587-5671-2025-29-4-177-195

ВВЕДЕНИЕ

Объемы выбросов парниковых газов (ПГ) во всем мире, в том числе в России, из года в год превышают возможности поглощения их планетой. Наибольшую долю в совокупном объеме выбросов занимают диоксид углерода (углекислый газ, CO₂) и метан (CH₄). Постоянное увеличение концентрации CO₂ и CH₄ в атмосферном воздухе спровоцировано высокими темпами прироста их выбросов в атмосферу, хотя после резкого увеличения этой характеристики в период 2020–2022 гг. изменения в 2023 г. по сравнению с 2022 г. незначительны¹. Высокая концентрация парниковых газов является причиной изменения климата и провоцирует неблагоприятные гидрометеорологические явления, что особенно актуально для России, поскольку, по оценкам экспертов, в нашей стране ущерб от катастрофических природных явлений ежегодно превышает 150 млрд руб. [1, с. 217], а, согласно данным доклада ООН за 2023 г.,² объем выбросов парниковых газов на душу населения в Российской Федерации более чем в два раза превысил среднемировые значения. Большие объемы выбросов ПГ, приводящие к увеличению их концентрации в атмосфере, усугубляют общую эколого-климатическую ситуацию в мире, что ведет к увеличению частоты и масштабов природных катастроф и тем самым влияет на процесс и результаты финансово-хозяйственной деятельности экономических субъектов. Изменение климата и повышение температуры способствует смещению климатических зон, изменению профильных видов экономической деятельности отдельных территорий [2]. Все вышеизложенное объясняет

важность регламентации выбросов парниковых газов во всем мире, в том числе и в России.

Эта позиция находит поддержку в Прогнозе долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года³, разработанном Минэкономразвития России, Прогнозе социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2036 года⁴, а также Климатической доктрине Российской Федерации⁵ и Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации⁶.

Учитывая глобальный характер угроз, мировое сообщество активно разрабатывает меры по декарбонизации экономики, как правило, предпочитая жесткой регламентации и директивам использование финансовых рычагов, например торговли правами на выбросы парниковых газов (квотами). Разрешения на выброс представляют собой активы, которые могут быть свободно проданы и куплены на рынке. В рамках такой системы фактором изменения объемов выбросов ПГ становится цена эмиссии углеродной единицы. Ее рост теоретически способен побудить экономических субъектов (загрязнителей) к снижению выбросов в атмосферу.

Для разработки эффективных мер регулирования в рамках формирования и развития российского рынка торговли углеродными квотами, с учетом накопленного опыта зарубежных стран, актуальным является исследование того, как фор-

¹ Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2023 год. Москва, 2024. 104 с. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). С. 87–88, 93. URL: <https://www.meteorf.gov.ru/images/news/20240329/4/DOCK202344.pdf> (дата обращения: 08.06.2024).

² Доклад о разрыве в уровне выбросов за 2023 год. Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде. 2023. Краткий обзор. URL: <https://www.unep.org/interactives/emissions-gap-report/2023/ru/> (дата обращения: 26.09.2024).

³ Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года (разработан Минэкономразвития России в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 07.05.2012 № 596 «О долгосрочной государственной экономической политике»). ГАРАНТ: справ.-правовая система.

⁴ Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2036 года (утвержден на заседании Правительства Российской Федерации 22.11.2018 г.). ГАРАНТ: справ.-правовая система.

⁵ Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 26.10.2023 № 812. ГАРАНТ: справ.-правовая система.

⁶ О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 № 145. ГАРАНТ: справ.-правовая система.

мируются цены углеродных единиц, рассматриваемые для целей настоящего исследования как инструменты, стимулирующие переход российских компаний на путь декарбонизации.

Цель настоящего исследования заключается в выявлении ключевых детерминант установления и изменения цен на углеродные единицы.

Исследование проведено в соответствии с принципами европейской, новозеландской и корейской систем торговли квотами (СТК) на выбросы парниковых газов. Выбор данных СТК продиктован доступом к более широкому периоду наблюдений (более 5 лет для каждой из систем), а также использованием свободной биржевой торговли на вторичном рынке квот, что обеспечивает доступ к ежедневной информации о рыночных котировках и объемах продаж. В отличие от выбранных, большинство страновых СТК используют в качестве инструмента торговли аукционы, что существенно ограничивает возможности анализа изменчивости показателей.

Изменчивость цен углеродных единиц выбранных СТК была исследована с использованием моделей условной волатильности ARCH- и GARCH-, разработанных Т. Bollerslev и R. F. Engle [3, 4], а основные факторы, влияющие на цену углеродной единицы, были определены на основе исследований зарубежных авторов [5–8]. Вопросами ценообразования на рынке углеродных квот также занимались О. Д. Исмаилова [9], М. В. Лысунец [10], Н. В. Сергеева [11], Ю. С. Церцейл [12].

В процессе исследования использованы общенаучные методы анализа, синтеза, обобщения и классификации данных, а также экономико-математические методы, включая корреляционно-регрессионный анализ.

Полученные результаты и разработанные рекомендации направлены на создание рынка углеродных единиц в России и повышение его эффективности в сравнении с существующими практиками. Также они будут использованы при проведении дальнейших фундаментальных исследований и практических разработок в области торговли квотами на выбросы парниковых газов.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОСНОВНЫХ ДЕТЕРМИНАНТ ЦЕНЫ УГЛЕРОДНОЙ ЕДИНИЦЫ

Европейская система торговли выбросами (СТК ЕС) стала первой полноценной и, как результат, одной из самых проработанных систем торговли углеродными квотами в мире. В период 2005–2012 гг. большая часть квот СТК ЕС выдавалась

бесплатно, поэтому цена на них (EUA) упала до нуля к 2007 г., а компании успели накопить большой резерв разрешений на выбросы, которым пользуются по настоящее время [13]. К 2013 г. объем бесплатных квот на европейском рынке почти достиг 2 млрд (рис. 1), превысив годовой объем эмиссии парниковых газов, после чего более половины квот на выбросы стали распределяться посредством аукционных торгов.

Восстановление промышленности после мирового экономического кризиса 2008–2013 гг. и рост цен на природный газ с IV квартала 2021 г. привели к росту цен на выбросы парниковых газов до 32,94 евро за тонну CO₂ в 2020–2021 гг.⁷ Амбициозные климатические цели ЕС, подтвержденные на 26-й Конференции ООН по вопросам изменения климата, привели к тому, что до конца 2022 г. цена удерживалась на высоком уровне (более 80 евро за тонну CO₂), но с 2023 г. началась нисходящая тенденция, которая достигла своего минимума в 54,2 евро за тонну CO₂ в феврале 2024 г. вследствие падения спроса на электроэнергию и увеличения производства возобновляемой энергии.

Система торговли как рыночный инструмент сокращения выбросов парниковых газов, работающий по принципу «ограничения и торговли», предполагает централизованное установление верхнего порога общего объема выбросов в одной или нескольких сферах экономической деятельности и приобретение разрешений на каждую единицу выбросов бесплатно или посредством покупки их у государства и компаний, участвующих в СТК. Появившаяся в 2008 г. система торговли выбросами Новой Зеландии (NZ ETS), считающаяся одной из самых успешно функционирующих СТК, не устанавливает ограничения на выбросы, что делает ее уникальной. NZ ETS охватывает наибольшее число сфер экономической деятельности, включая жидкое ископаемое топливо, лесное хозяйство, стационарную энергию, промышленность, отходы и синтетические газы. Однако плата за эмиссию CO₂ предприятиями сельского хозяйства — сектора, на долю которого приходится почти половина валовых выбросов парниковых газов, начнет взиматься только с IV квартала 2025 г. Согласно новому законодательству, с 2025 г. за выбросы ПГ в сельском

⁷ Как устроены углеродные рынки: отчет. SBS Consulting. URL: <https://www.sbs-consulting.ru/upload/iblock/989/9891cb9879c806dd3cec1a3577806916.pdf> (дата обращения: 18.10.2024).

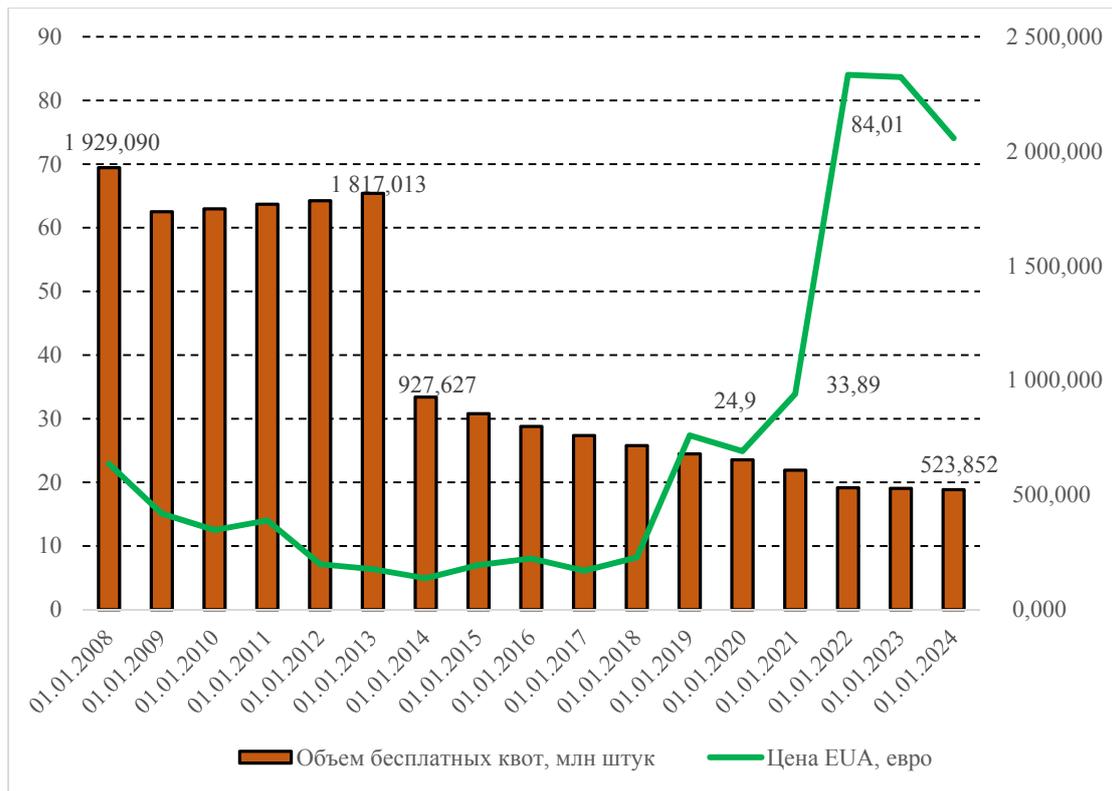


Рис. 1 / Fig. 1. Динамика изменения цены EUA и объема бесплатных углеродных квот на европейском рынке с 2008 по 2024 г. / The Dynamics of Change in the EUA Price and the Volume of Free Carbon Credits in the European Market from 2008 to 2024

Источник / Source: составлено авторами по результатам исследования и на основе данных источников: Разрешение ЕС на выбросы углерода; EU Emissions Trading System (ETS) data viewer: Европейское агентство окружающей среды / Compiled by the authors on the basis of research and sources data: EU carbon emission permits: European Environment Agency. URL: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/maps-and-charts/emissions-trading-viewer-1-dashboards>; <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon> (дата обращения: 15.10.2024) / (accessed on 15.10.2024).

хозяйстве будет взиматься плата за углерод для поддержки перехода фермеров на новые технологии в сочетании с другими мерами по борьбе с изменением климата ради дальнейшего сокращения выбросов. С I квартала 2024 г. новозеландские фермеры начали отслеживать объемы выбросов для признания поглощения углерода при выращивании сельскохозяйственных культур на фермах, чтобы его можно было использовать в качестве компенсации за выбросы⁸. Существующая система новозеландской торговли выбросами обязывает предприятия измерять выбросы парниковых газов и отчитываться о них, сдавать одну «единицу выбросов» (NZU) правительству

за каждую тонну выбросов [14]. Компании могут переложить эти затраты на потребителей конечного продукта. Предложение квот на рынке или от правительства не ограничено. Их можно получить посредством покупки у правительства, на вторичном рынке, за переезд, через бесплатное распределение или в форме кредита, благодаря включению научно обоснованных форм поглощения углерода в новозеландскую систему торговли квотами на выбросы.

Стоит отметить, что NZ ETS все еще находится в стадии разработки, в связи с чем единая последовательная ориентация ее развития пока не в полной мере определяема. Это можно объяснить тем, что в Азиатско-Тихоокеанском регионе новозеландская СТК долго оставалась единственной — следующая система торговли квотами в регионе была запущена в Южной Корее (KETS) лишь в 2015 г. (через 7 лет после введения NZ ETS). К 2017 г. объем торговых операций в рамках KETS возрос с 1,2 до 5,1 млн т выбросов в год, что со-

⁸ Международные подходы к углеродному ценообразованию. Департамент многостороннего экономического сотрудничества Минэкономразвития России. Министерство экономического развития Российской Федерации. С. 22. URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/c13068c695b51eb60ba8cb2006dd81c1/13777562.pdf> (дата обращения: 27.10.2024).

Таблица 1 / Table 1

**Основные детерминанты установления и изменения цены углеродной единицы /
Main Determinants of Setting and Changing the Price of a Carbon Unit**

Детерминанта / Determinant	Описание / Description
Государственная политика	Правительство регулирует цену, изменяя количество углеродных квот и компенсаций, внедряя углеродный резерв, механизм ценообразования и разрешая заимствование квот. Такими действиями государство воздействует на предложение, тем самым изменяя цены. Цена эмиссии на международном углеродном рынке формируется спросом и предложением
Общий объем квот на выбросы	Рыночная цена квот на выбросы отражает их избыток или дефицит. В системе торговли квотами ЕС до 2007 г. это было очевидно: чем больше квот на рынке, тем ниже их цена. И наоборот, дефицит квот ведет к росту их стоимости. Эта же логика применима и к объему бесплатно распределяемых квот
Объем бесплатно распределяемых квот	Увеличение доли бесплатных квот может сократить общее количество квот на выбросы, доступных для продажи на рынке, при неизменном общем объеме квот. В сценарии с большим количеством бесплатных квот объем платных квот будет существенно меньше. При стабильном соотношении спроса и предложения это приведет к росту цен на выбросы
Количество отраслей, вовлеченных в СТК	Чем больше отраслей вовлечено в СТК, тем ниже будет цена углеродной единицы. Существование отраслей с более низкой эмиссией ПГ или с большими возможностями их снижения, приводит на рынок поставщиков квот – и предложение доступных квот растет. В результате цены на квоты выбросов снижаются, а накопленные квоты можно использовать в будущем
Цена на энергоносители (сырую нефть, газ, уголь, газولين)	Относительная цена на энергию может напрямую влиять на спрос фирм на выбросы CO ₂ . Изменение цен на энергию может вынудить компании изменить структуру своего энергопотребления
Шоки, вызывающие рецессию (пандемия COVID-19, мировые финансовые кризисы и т.п.)	Сокращение объемов производства во многих отраслях промышленности вызывает общий экономический спад и снижение спроса на рынке углеродных единиц, что приводит к снижению цен на квоты за выбросы
Экономическая активность	Повышение экономической активности подразумевает рост спроса на ископаемое топливо и, как следствие, на право выброса ПГ. Экономическая активность всегда была одним из основных факторов колебаний цен на углерод. Однако значимость этого фактора снижается по мере внедрения альтернативных видов энергии в производственный процесс

Источник / Source: составлено авторами на основе данных [5–8, 17, 18] / compiled by the authors based on data from [5–8, 17, 18].

поставимо с предельным объемом выбросов Корейской СТК [15]. Цена на выбросы на Корейской СТК варьировалась от 8,69 долл. США за т CO₂ – экв. (9580 вон) в сентябре 2015 г. до 34,79 долл. США (40 800 вон) в декабре 2019 г. За это время в торговлю поступило более 14 млн единиц квот. До 2017 г. всем компаниям, участвующим в программе, были предоставлены бесплатные квоты, а с 2018 г. была запущена система аукционных торгов квот на эмиссию парниковых газов.

Таким образом для всех трех СТК наблюдается общая тенденция отношения к ценам на выбросы

ПГ, которые в совокупности с лимитированием квот выступают в роли рычагов, используемых для оказания влияния на сектора экономики с целью поддержки их развития, или препятствования ему через распределение квот. С учетом возможности переложения стоимости покупки таких квот на потребителей вопрос о справедливости применения такого инструмента кроется в определении конечной цели введения СТК: если снижение выбросов является сопутствующей, но не главной целью введения СТК, а приоритет отдан аккумуляции средств для создания общественных

благ или компенсации убытков, которые несет общество, то, поскольку конечным пользователем блага является каждый из вероятных потребителей (как физические, так и юридические лица), равно как и источником, предъявляющим спрос на такое благо, и причиной возникновения нужды в нем, то справедливо, чтобы деньги были внесены в бюджет, поскольку в случае недополучения причитающихся ему средств государственный бюджет вынужден ограничивать реализацию ряда значимых государственных программ (включая связанные с декарбонизацией). При этом если в приоритете стоит фискальная функция таких платежей, то при условии их целевого характера для достижения конечной цели не важно, кто платит [16, с. 226–227].

В этой связи государственная политика, объем бесплатно распределяемых квот, количество и доля в общем объеме выбросов отраслей, вовлеченных в СТК, можно назвать главными детерминантами установления и изменения цен на рынке углеродных квот. Этот перечень факторов, оказывающих влияние на ценообразование углеродных единиц, не является исчерпывающим и может быть дополнен (табл. 1).

Например, А. Maydybura, В. Andrew [18] была разработана модель зависимости цены углеродной единицы от ряда параметров, включая: цены на уголь, нефть и природный газ, уровень роста ВВП, а также температуру окружающей среды. С целью корректировки положительного искажения и получения нормального распределения все переменные модели (кроме роста ВВП) следует логарифмизировать, получив следующую модель:

$$\ln(P_{Carbon}) = \ln(P_{Oil}) + \ln(P_{Coal}) + \ln(P_{Gas}) + \ln(T) + \Delta GDP\%, \quad (1)$$

где P_{Carbon} — цена углеродной единицы EUA; P_{Coal} — цена угля; P_{Oil} — цена нефти; P_{Gas} — цена газа; T — средняя температура в регионе; $\Delta GDP\%$ — процентный рост ВВП.

С целью повышения точности и для проверки влияния объема бесплатных углеродных квот на цену углеродной единицы изменим эту модель, исключив среднюю температуру по причине высокой изменчивости показателя. Для исключения динамики временных рядов, которые могут привести к ложным связям, вместо натуральных логарифмов возьмем процентный рост переменных. Это позволит устранить нестационарность наблюдений. В качестве цен на нефть, газ и уголь были выбраны фьючерсные цены нефти марки BRENT,

природного газа (NBPI) и австралийского энергетического угля (Coal, Australia).

Большой объем бесплатно распределяемых квот в первые годы внедрения системы торговли квотами может привести к тому, что компании получат возможность минимизировать покупки квот в первые периоды торговли. Это снизит реальные затраты и стимулы снижать выбросы. То есть завышенный уровень распределения квот ведет к потенциальному снижению цены и ее удерживанию на низком уровне. Подобная ситуация характерна для многих национальных торговых систем. Поэтому включение объема бесплатных квот в модель является обоснованным и закономерным.

$$D(P_{Carbon}) = D(P_{Oil}) + D(P_{Coal}) + D(P_{Gas}) + D(T) + \Delta GDP\%, \quad (2)$$

где D — первая разница наблюдений.

Результаты моделей множественной регрессии для оценки влияния включенных в формулу (2) детерминант на цены квот и оценки качества регрессионных моделей (R^2 и F -значение) представлены в табл. 2.

Судя по значениям R^2 и F -значению, полученные многофакторные регрессионные модели значимы, но характеризуются слабой предиктивной силой. Однако коэффициенты при переменных могут дать дополнительную информацию о зависимостях и изменениях. Для Новой Зеландии и Южной Кореи можно наблюдать отрицательную взаимосвязь между объемом бесплатно распределяемых квот и ценой углеродных квот. С другой стороны, данная взаимосвязь не наблюдается для ЕС, хотя слишком большие уровни распределения во время первой стадии развития СТК привели к сильному занижению цены.

При оценке регрессии важным также является факт, что за резким почти двукратным снижением квот на выбросы в 2014 г. в рамках СТК ЕС сопоставимый рост цен последовал только спустя 4 года — в 2018 г. (рис. 1). Это делает связь между переменными менее очевидной. Таким образом, какие-либо государственные меры (в том числе число распределяемых квот) может иметь эффект с задержкой во времени. Как было отмечено ранее, компании в ЕС смогли накопить большой излишек разрешений на выбросы за 2005–2008 гг. Из этого следует, что снижение распределения квот напрямую влияет на их излишек, который со временем уменьшается. Компании обращаются на вторичные рынки для покупки квот в период

Таблица 2 / Table 2

**Оценка моделей многофакторной регрессии для цен EUA, KETS, NZUs /
Estimation of Multivariate Regression Models for EUA, KETS, NZUs Prices**

Регион / Region	Const	OIL	COAL	GAS	GDP	ALLOC	R ²	F-значение / F-value
ЕС	7,09	-0,22	0,10	6,91	-2,33	0,019	0,54	2,33
Новая Зеландия	5,80	0,00	0,04	3,59	185,23	-4,02	0,73	3,84
Южная Корея	0,01	1,34	-0,18	-0,02	7,87	-6,87	0,61	0,64

Источник / Source: составлено авторами на основе данных: EU Emissions Trading System (ETS) data viewer: Европейское агентство окружающей среды; Фьючерс на нефть Brent. Аналитическая платформа Инвестинг; Фьючерс на природный газ. Аналитическая платформа Инвестинг. Coal (Australian); IndexMundi: мировая статистическая база данных; Данные о ценах на NZU. Хостинг финансовых проектов; Korea Emissions Trading Scheme. International Carbon Action Partnership (ICAP) / Compiled by the authors on the basis of data: EU Emissions Trading System (ETS) data viewer: European Environment Agency; Brent oil futures. Analytical platform Investing; Natural gas futures. Analytical platform Investing; Coal (Australian). IndexMundi: world statistical database; NZU price data. Hosting of financial projects; Korea Emissions Trading Scheme. International Carbon Action Partnership (ICAP). URL: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/maps-and-charts/emissions-trading-viewer-1-dashboards>; <https://ru.investing.com/commodities/brent-oil>; <https://www.investing.com/commodities/natural-gas>; <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=coal-australian&months=120>; <https://github.com/theecanmole/nzu/blob/master/nzu-edited-raw-prices-data.csv>; https://icapcarbonaction.com/system/files/ets_pdfs/icap-etsmap-factsheet-47.pdf <https://github.com/theecanmole/nzu/blob/master/nzu-edited-raw-prices-data.csv>; https://icapcarbonaction.com/system/files/ets_pdfs/icap-etsmap-factsheet-47.pdf (дата обращения: 22.10.2024) / (accessed on 22.10.2024).

снижения их стоимости. Со временем излишки истощаются — и цены растут. Тренд на уменьшение бесплатных разрешений поддерживает дальнейший рост цен.

Другой причиной невысокого качества моделей, и в особенности ряда коэффициентов, являются пропущенные, неидентифицированные переменные, которые оказывают влияние на изменение цен углеродных единиц. В отличие от австралийской СТК, в KETS не существует периода фиксированной цены, участникам рынка относительно сложно заранее сообщить о цене. Поэтому в корейском законе об ETS предусмотрены различные меры по сдерживанию издержек. Перечень мер по стабилизации рынка включает контроль за формированием резервов, установление максимальных и минимальных уровней их удержания, ограничение заимствований между периодами соблюдения требований, регулирование зачетных кредитов и установление ценового потолка или нижнего предела. Ожидается, что резерв квот в KETS станет важнейшим фактором стабилизации внутреннего углеродного рынка посредством предоставления дополнительных квот (до 25% от общего резерва) в случае быстрого изменения цен.

Механизм функционирования мер сдерживания затрат и установления минимальной цены (резервной цены аукциона), действующих на новозеландском рынке, заключается в следующем: если на аукционе достигается заранее установленная стартовая цена (обновляется ежегодно), то для продажи квот дополнительно выделяется определенное количество скидок. Другие параметры аукционного предложения тоже могут меняться. Минимальная цена формируется из резервной цены и минимальной ставки, принятой на аукционе. В дополнение к минимальной цене, установленной на аукционе, правительство ввело конфиденциальную резервную цену. Она устанавливается на основе цен на вторичном рынке и использует конфиденциальную методологию для определения резервной цены, ниже которой квоты не могут быть проданы. Если она установлена выше, чем жесткая резервная цена аукциона, то она становится новым минимальным значением резервной цены для данного аукциона⁹.

⁹ Новая Зеландия: система торговли выбросами. International Carbon Action Partnership. URL: <https://icapcarbonaction.com/en/ets/new-zealand-emissions-trading-scheme> (дата обращения: 25.10.2024).

Таким образом, есть основания полагать, что влияние государства на цену углеродной единицы не может быть описано единственной переменной, но рядом зависимых переменных, характеризующих политику проведения торгов и общие правила функционирования конкретной СТК. Предположим, на основе доступной для анализа информации, что такими переменными будут количество участников на рынке углеродных квот, количество бесплатно распределяемых единиц квот, резервная цена аукциона (*ARP* — Auction Reserve Price) и доля бесплатно распределяемых квот в общем числе квот для погашения углеродного следа предприятий. Формула (3) описывает многофакторную регрессионную модель комплексного воздействия государственной политики на цену углеродных квот:

$$D(P_{carbon}) = D(PART) + D(ALLOC) + D(ARP) + D(SHARE) + D_{2020}, \quad (3)$$

где *PART* — количество участников торговой системы углеродных квот; *ALLOC* — количество бесплатно распределяемых квот; *ARP* — резервная цена аукциона; *SHARE* — доля бесплатно распределяемых квот в общем числе квот для погашения углеродного следа предприятий; D_{2020} — фиктивная переменная (до 2020 г. — 0, после — 1).

Спецификация данной модели использует первую разницу переменных для избегания ложной регрессии и нестационарности временных рядов. Временная фиктивная переменная может оказать существенное влияние на модель, потому что с 22 июня 2020 г. государству был предоставлен широкий спектр инструментов для обеспечения соблюдения требований, которые помогают управлять и поддерживать целостность СТК и гарантируют, что ETS достигает своей цели¹⁰ (табл. 3).

Результаты оценки моделей (табл. 3) свидетельствуют о том, что модель имеет *F*-значение равное 6,00 (с *p*-значением в районе 0,018) и R^2 равное 0,81. Помимо удовлетворительных показателей самой модели, коэффициенты при переменных также показывают значимость (*Const*, *PART*, D_{2020} — на 5%-ном уровне, а остальные — на 10%-ном).

¹⁰ Участие в системе торговли выбросами (ETS). EPA. URL: <https://www.epa.govt.nz/industry-areas/emissions-trading-scheme/participating-in-the-ets/> (дата обращения: 23.10.2024).

Модель государственного воздействия потенциально могла бы иметь больше переменных. Во избежание мультиколлинеарности и широких доверительных интервалов потенциально могут быть применены способы уменьшения размерности данных (например, метод главных компонент PCA).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛАТИЛЬНОСТИ ЦЕНЫ УГЛЕРОДНОЙ ЕДИНИЦЫ

Исходя из возможности определения влияющих на цены квот в рамках СТК детерминант, можно определить причины и последствия изменений цен на квоты выбросов парниковых газов на рынке.

Описательная статистика ежедневной изменчивости цены углеродных единиц на национальных рынках Европейского союза, Южной Кореи и Новой Зеландии (табл. 4) демонстрирует, что средняя и медианные величины во всех системах стремятся к нулевому значению.

Европейские цены демонстрируют наибольшую изменчивость в самом широком интервале: они изменялись от -35,26 до 27,19%, а стандартное отклонение составило почти 3%, что значительно превышает этот показатель цен южнокорейского рынка (на 14,56%) и показатели цен новозеландского рынка (на 48,02%). Корейская и новозеландская системы имеют значительно более короткую историю существования. Кроме того, отмечается меньшая волатильность в размахе изменчивости и в показателе стандартного отклонения для этих СТК (рис. 2).

В ситуации с новозеландскими ценами на углеродные единицы $\sigma \approx 2\%$ в день, но в то же время размах за период составил 51,48%. Для сравнения: для южнокорейского рынка этот показатель составил 25,93%, что практически в 2 раза меньше.

Представление о росте цены на право осуществления выбросов парниковых газов как о существующем стимуле к их сокращению является в настоящее время аксиомой. Однако при росте цен на углеродные единицы растут и операционные издержки компаний, что может стать причиной возникновения барьеров устойчивого развития отдельных хозяйствующих субъектов и целых отраслей [19, с. 193]. Рыночный механизм закономерно вызывает колебания цены на квоты, что оказывает влияние как на принятие решений экономическими агентами, так и на ценообразование производных финансовых инструментов, используемых в системе торговли квотами на выбросы парниковых газов. Изменчивость цен является крайне важ-

Таблица 3 / Table 3

**Оценка моделей многофакторной регрессии «государственной политики» для цены NZUs /
Estimation of 'Public Policy' multivariate Regression Models for the Price of NZUs**

Показатель / Indicator	Коэффициент / Coefficient	Стандартная ошибка / Standard Error	t-статистика / t-statistics	p-значение / p-value
Const	13,61	3,63	3,74	0,0072
PART	-0,01	0,002	-4,26	0,0037
ALLOC	-5,67	2,70	-2,10	0,0742
ARP	-0,48	0,24	-1,97	0,0893
SHARE	77,80	38,83	2,00	0,0852
D 2020	16,81	6,54	2,57	0,0370

Источник / Source: составлено авторами на основе: Данные о ценах на NZU. Хостинг финансовых проектов; Участие в системе торговли выбросами (ETS). EPA; Решения по распределению квот в рамках схемы торговли выбросами. Министерство окружающей природы Новой Зеландии / Compiled by the authors on the basis of data: NZU price data. Hosting of financial projects; Participation in the Emissions Trading System (ETS). EPA; Decisions on allocation of allowances under the Emissions Trading Scheme. Ministry of Environment of New Zealand. URL: <https://github.com/theecanmole/nzu/blob/master/nzu-edited-raw-prices-data.csv>; <https://www.epa.govt.nz/industry-areas/emissions-trading-scheme/participating-in-the-ets/>; <https://www.epa.govt.nz/industry-areas/emissions-trading-scheme/industrial-allocations/decisions/> (дата обращения: 10.10.2024) / (accessed on 10.10.2024).

Таблица 4 / Table 4

**Описательная статистика доходностей EUA, KETS, NZUs /
Descriptive Statistics of EUA, KETS, NZUs Yields**

Показатель / Indicator	EUA	KETS	NZUs
Наблюдения	4311	2339	1461
Среднее	0,07%	0,03%	-0,09%
Минимум	-35,26%	-13,90%	-29,40%
1-й квартиль	-1,41%	-0,57%	-0,62%
Медиана	0,04%	0,06%	-0,04%
3-й квартиль	1,61%	0,01%	0,48%
Максимум	27,19%	12,03%	22,08%
Стандартное отклонение	2,99%	2,61%	2,02%
Начало периода	02.01.2008	12.01.2015	22.01.2018
Конец периода	02.08.2024	12.07.2024	18.10.2024

Источник / Source: составлено авторами на основе данных источников: Разрешения ЕС на выбросы углерода; Данные о ценах на NZU. Хостинг финансовых проектов; Allowance Price Explorer. International Carbon Action Partnership / Compiled by the authors on the basis of sources data: EU carbon emission permits; NZU price data. Hosting of financial projects; Allowance Price Explorer. International Carbon Action Partnership. URL: <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>; <https://github.com/theecanmole/nzu/blob/master/nzu-edited-raw-prices-data.csv>; <https://icapcarbonaction.com/en/ets-prices> (дата обращения: 21.10.2024) / (accessed on 21.10.2024).

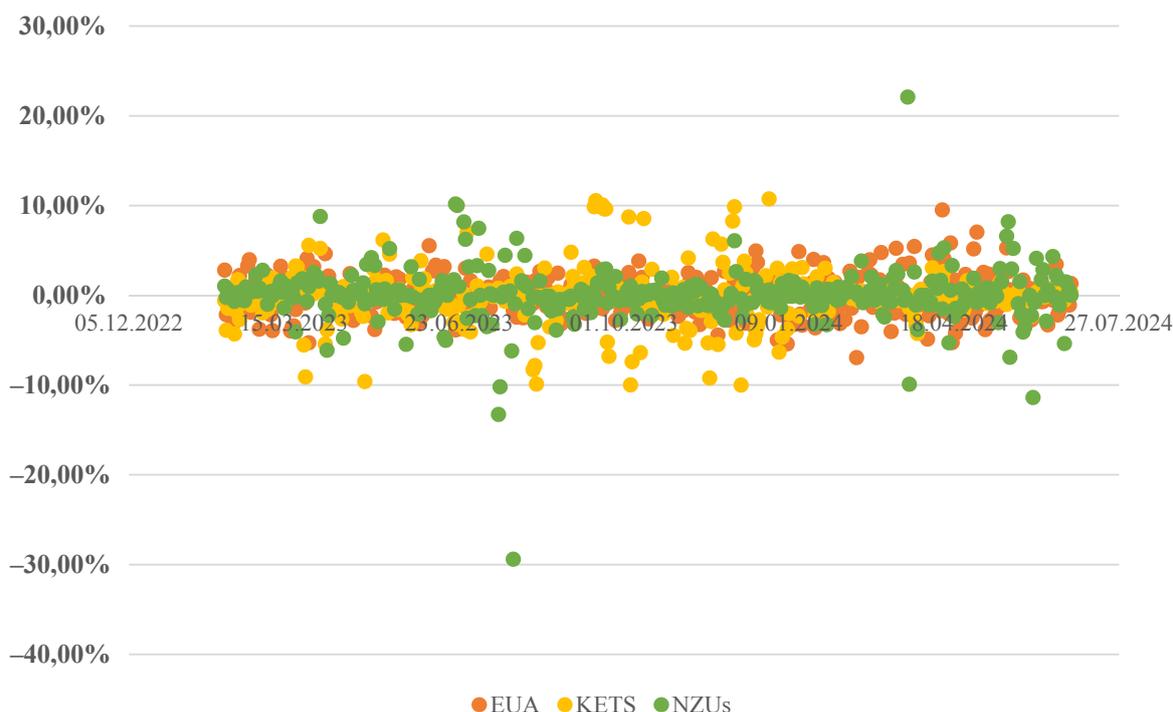


Рис. 2 / Fig. 2. Ежедневное процентное отклонение цен углеродных единиц на европейском, южнокорейском и новозеландском рынках с декабря 2022 по июль 2024 г. / Daily Percentage Deviation of Carbon Unit Prices in the European, South Korean and New Zealand Markets from December 2022 to July 2024

Источник / Source: составлено авторами на основе данных источников: Разрешения ЕС на выбросы углерода; Данные о ценах на NZU. Хостинг финансовых проектов; Allowance Price Explorer. International Carbon Action Partnership / Compiled by the authors on the basis of sources data: EU carbon emission permits; NZU price data. Hosting of financial projects; Allowance Price Explorer. International Carbon Action Partnership. URL: <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>; <https://github.com/theecanmole/nzu/blob/master/nzu-edited-raw-prices-data.csv>; <https://icapcarbonaction.com/en/ets-prices> (дата обращения: 21.10.2024) / (accessed on 21.10.2024).

ным параметром ценообразования деривативов, которые, в свою очередь, могут быть использованы компаниями для хеджирования рисков.

Из графиков (рис. 3) видно, что на европейском рынке в первой половине периода цена характеризовалась меньшей волатильностью, в то время как в районе 19.04.2024 г. сконцентрированы наблюдения с наивысшей интенсивностью ежедневных изменений, что соответствует типичному поведению, моделируемому с помощью ARCH- и GARCH-моделей. По их логике, за днями с маленькой волатильностью, вероятнее всего, будут следовать дни с такими же параметрами изменчивости. Интересно, что цены на корейском и новозеландском рынках имеют меньшую интенсивность и амплитуду значений изменчивости. До 12.01.2024 г. KETS характеризовалось большей волатильностью, чем после этой даты. В то же время NZUs не проявляет столь же сильной волатильности, как в предыдущих случаях. Тем не

менее кластеры изменчивости могут быть идентифицированы на всех трех рынках, что говорит о возможности применения ARCH- или GARCH-моделей для моделирования условной дисперсии цен на углеродные единицы.

Для построения моделей объединенных временных рядов следует использовать широкую выборку наблюдений. В исследовании были использованы данные об изменении цены на квоты выбросов парниковых газов на европейском рынке с 2008 по 2024 г., с 2015 по 2024 г. — на южнокорейском рынке, с 2018 по 2024 г. — на новозеландском рынке. Таким образом, в выборке оказалось 4999, 2339, 1461 наблюдений соответственно, что достаточно для построения ARCH- и GARCH-моделей. Согласно рекуррентным моделям, условная волатильность [дисперсия случайной величины с учетом значения (значений) одной или нескольких других переменных] может быть представлена как [20]:

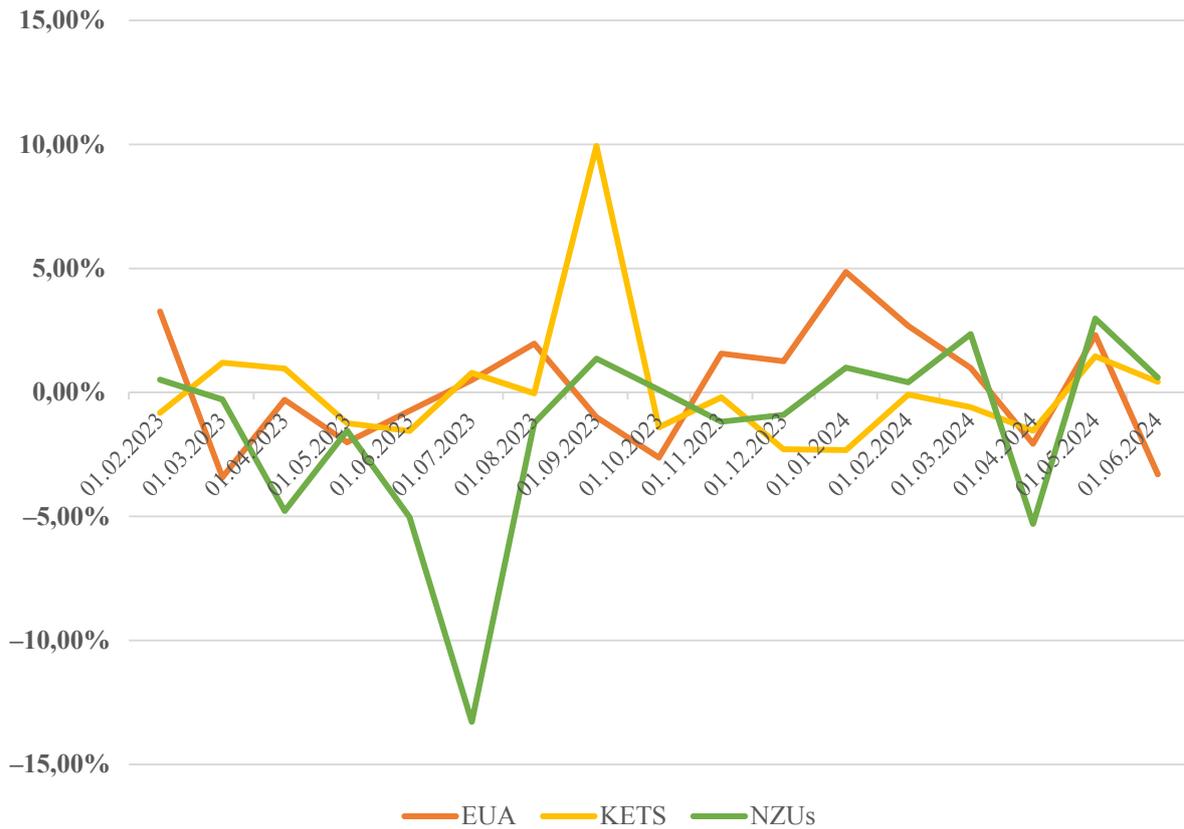


Рис. 3 / Fig. 3. Волатильность цен углеродных единиц на европейском, южнокорейском и новозеландском рынках с декабря 2022 по июль 2024 г. / Carbon Unit Price Volatility in the European, South Korean and New Zealand Markets from December 2022 to July 2024

Источник / Source: составлено авторами на основе данных источников: Разрешения ЕС на выбросы углерода; Данные о ценах на NZU. Хостинг финансовых проектов; Allowance Price Explorer. International Carbon Action Partnership / Compiled by the authors on the basis of sources data: EU carbon emission permits; NZU price data. Hosting of financial projects; Allowance Price Explorer. International Carbon Action Partnership. URL: <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>; <https://github.com/theecanmole/nzu/blob/master/nzu-edited-raw-prices-data.csv>; <https://icapcarbonaction.com/en/ets-prices> (дата обращения: 21.10.2024) / (accessed on 21.10.2024).

$$ARCH(p): \sigma_n^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i u_{n-i}^2, \quad (4)$$

$$GARCH(p, q): \sigma_n^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i u_{n-i}^2 + \sum_{i=1}^q \beta_i \sigma_{n-i}^2, \quad (5)$$

где σ_n — условное стандартное отклонение в n период; σ_{n-i} — условное стандартное отклонение в $n - i$ период; u_{n-i} — показатель доходности в $n - i$ период; α, β — оцениваемые параметры.

Постоянный параметр $\alpha_0 > 0$, поскольку волатильность теоретически не может быть отрицательной. Кроме того, существуют определенные ограничения на $\alpha_1 > 0, \beta_1 > 0$ и $\alpha_1 + \beta_1 < 1$ [21, с. 61–62]. Критерием согласия выступает информационный критерий Акаике, т.е. чем меньше AIC, тем лучше модель.

Из представленных результатов (табл. 5) можно судить о значимости коэффициентов моделей с различными параметрами, что свидетельствует о существовании кластеров волатильности ввиду лаговой зависимости условной дисперсии. Причем для GARCH-модели южнокорейского рынка (табл. 6), несмотря на их статистическую значимость, не выполняются необходимые неравенства, из-за чего стоит обратить внимание на ARCH (2). Для европейского рынка, судя по критерию Акаике, самая лучшая спецификация модели — GARCH (1, 1), так как AIC наименьший именно в этом случае. Причем, все коэффициенты значимы на 1%-ном уровне значимости, $\alpha_1 \approx 10\%, \beta_1 \approx 90\%$, что говорит о состоятельности модели.

Для показателей рынка квот на выбросы парниковых газов Новой Зеландии (табл. 7) GARCH

Таблица 5 / Table 5

**Оценка моделей ARCH и GARCH с различной спецификацией для EUA /
Estimation of ARCH and GARCH Models with Different Specification for EUA**

Показатель / Indicator	α_0	α_1	α_2	β_1	β_2	AIC
ARCH (1)	0,00065*** (11,84)	0,29066*** (11,55)	-	-	-	-18 398
ARCH (2)	0,00047*** (17,38)	0,26761*** (5,91)	0,24911*** (4,96)	-	-	-18 696
GARCH (1,1)	0,00001*** (2,73)	0,10388*** (6,24)	-	0,88762*** (49,22)	-	-19 227
GARCH (2,1)	0,00001** (2,33)	0,096*** (4,38)	0,01222 (0,34)	0,88299*** (32,46)	-	-19 225
GARCH (2,2)	0,00002** (2,49)	0,09531*** (4,88)	0,07875 (1,59)	0,25965 (0,53)	0,552 (1,25)	-19 224

Источник / Source: составлено авторами на основе данных: Разрешения ЕС на выбросы углерода / Compiled by the authors on the basis of data: EU carbon emission permits. URL: <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon> (дата обращения: 14.10.2024) / (accessed on 14.10.2024).

Примечание / Note: (в скобках указаны z-значения); ** уровень значимости на 5%; *** уровень значимости на 1%.

Таблица 6 / Table 6

**Оценка моделей ARCH и GARCH с различной спецификацией для KETS /
Estimation of ARCH and GARCH Models with Different Specification for KETS**

Показатель / Indicator	α_0	α_1	α_2	β_1	β_2	AIC
ARCH (1)	0,00037*** (9,45)	0,60727*** (6,08)	-	-	-	-10 351
ARCH (2)	0,00027*** (7,21)	0,43845*** (5,77)	0,34122*** (3,28)	-	-	-10 570
GARCH (1,1)	0,00002** (1,93)	0,22609*** (4,15)	-	0,78849*** (15,83)	-	-10 873
GARCH (2,1)	0,00001** (2,25)	0,44387*** (3,78)	-0,27754** (-2,46)	0,84746*** (24,23)	-	-10 913
GARCH (2,2)	0,00001 (1,49)	0,43737*** (3,74)	-0,29519** (-2,38)	0,95314*** (2,72)	-0,0839 (-0,3034)	-10 912

Источник / Source: составлено авторами на основе данных: Allowance Price Explorer. International Carbon Action Partnership / Compiled by the authors on the basis of data: Allowance Price Explorer. International Carbon Action Partnership. URL: <https://icarcarbonaction.com/en/ets-prices> (дата обращения: 21.10.2024) / (accessed on 21.10.2024).

Примечание / Note: (в скобках указаны z-значения); ** уровень значимости на 5%; *** уровень значимости на 1%.

(1, 1) также показывает хорошие результаты, в совокупности с легкостью интерпретации выбор падает на GARCH (1, 1).

Результатом оценки моделей стал вывод о наличии кластеров волатильности на рынках углеродных единиц.

Отличительной чертой используемых моделей является то, что они основаны на предположении о непостоянстве волатильности. На протяжении определенных интервалов времени волатильность конкретного показателя может быть относительно слабой или относительно сильной в дру-

Таблица 7 / Table 7

**Оценка моделей ARCH и GARCH с различной спецификацией для NZUs /
Estimation of ARCH and GARCH Models with Different Specification for NZUs**

Показатель / Indicator	α_0	α_1	α_2	β_1	β_2	AIC
ARCH (1)	0,00025*** (4,28)	0,51256*** (2,63)	-	-	-	-7583,7
ARCH (2)	0,00022*** (3,28)	0,46330*** (2,65)	0,14978*** (1,14)	-	-	-7624,6
GARCH (1,1)	0,00004** (1,99)	0,20097*** (3,02)	-	0,73047*** (10,81)	-	-7689,6
GARCH (2,1)	0,00004** (2,50)	0,19244* (1,66)	1,05E-12 (0,00)	0,73908*** (15,2)	-	-7687,5
GARCH (2,2)	-	-	-	-	-	-

Источник / Source: составлено авторами на основе данных источника: Данные о ценах на NZU. Хостинг финансовых проектов / Compiled by the authors on the basis of data: NZU price data. Hosting of financial projects. URL: <https://github.com/theecanmole/nzu/blob/master/nzu-edited-raw-prices-data.csv> (дата обращения: 23.10.2024) / (accessed on 23.10.2024).

Примечание / Note: (в скобках указаны z-значения); * уровень значимости на 10%; ** уровень значимости на 5%; *** уровень значимости на 1%.

гие периоды, что позволяет отследить изменение значений изменчивости во времени.

Представим спецификацию GARCH (1,1):

$$GARCH(1,1): \sigma_n^2 = \gamma V_L + \alpha u_{n-1}^2 + \beta \sigma_{n-1}^2, \quad (6)$$

где V_L — долгосрочная дисперсия; γ , α , β — оцениваемые параметры, причем $\gamma + \alpha + \beta = 1$.

На практике значения дисперсии стремятся к среднему значению. Модель GARCH (1,1) включает этот эффект, что обуславливает привлекательность моделей данного типа. Долгосрочную

дисперсию можно вычислить как дробь $\frac{\alpha_0}{1 - \alpha - \beta}$.

В данном исследовании долговременная средняя суточная дисперсия европейского рынка углеродных квот, оцениваемая с помощью модели GARCH (1, 1), составила 0,001383. Ей соответствует стандартное отклонение равное 0,037188, т.е. 3,7188% в день. В случае с Новой Зеландией данные показатели составляют 0,00639 и 2,05075%.

Такие вспышки волатильности углеродного рынка могут быть вызваны международными конференциями по климату и энергетике, аномальными изменениями цен на традиционные энергоносители (особенно на нефть) и чрезвычайными ситуациями в области общественного здравоохранения во всем мире. Ряд резких событий, влияющих на энергетику стран, вызыва-

ет определенные потрясения на рынке торговли квотами на выбросы парниковых газов. Причем влияние негативных новостей на волатильность углеродного рынка сильнее, чем позитивных [22].

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОЗДАНИЮ РОССИЙСКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ТОРГОВЛИ КВОТАМИ НА ОСНОВЕ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА

Анализ зарубежного опыта запуска систем торговли квотами и ценовых детерминант позволяет разработать рекомендации по формированию и регулированию цен на квоты (рис. 4). Это, в свою очередь, позволит сократить объемы выбросов парниковых газов в России.

На начальном этапе необходимо проанализировать специфику российского производственного сектора и учесть текущие экономические условия для более плавного внедрения ограничений. Это поможет избежать финансовой неустойчивости компаний. Для предотвращения резкого увеличения производственных издержек предприятий на начальном этапе реализации программы следует предоставить бесплатные квоты. В дальнейшем целесообразно поддерживать умеренный уровень цен на углеродные единицы.

Следует учитывать степень влияния ценовой политики на предприятия различного размера: воздействие дополнительных издержек на сред-



Рис. 4 / Fig. 4. Этапы формирования цены на углеродные единицы и их характеристики / Stages of Carbon Unit Price Formation and Their Characteristics

Источник / Source: составлено авторами / Compiled by the authors.

ний и малый бизнес будет существенно отличаться от эффекта введения углеродных единиц для крупного бизнеса. В связи с этим необходим скрупулезный расчет объема выделяемых бесплатных квот для среднего и малого бизнеса для поддержки его конкурентоспособности.

Согласно данным Росстата¹¹, около 78% выбросов парниковых газов в России в 2020 г. было связано с деятельностью энергетического сектора, значит, именно этот сектор необходимо включить в СТК на начальном этапе для достижения углеродной нейтральности.

Промежуточный этап включает расширение задействованных отраслей и ужесточение условий путем снижения количества выделяемых квот, что повлечет повышение их стоимости.

Немаловажной является разработка стратегии сдерживания избыточного объема квот в общем доступе, которые могут повлечь их девальвацию [23]. Данная стратегия может включать:

- обязательное использование имеющихся квот;
- систему резервирования для временного изъятия квот государством;
- лимит на общее количество квот;
- аукционную торговлю.

Подчеркивая важность адаптации финансовой системы к климатическим изменениям, можно сказать, что разные аспекты перехода к более устойчивой экономике проявляют необходимость внедрения конкретных инструментов для финансирования и реализации «зеленых» проектов как в политических решениях, так и в практических механизмах финансирования, что подтверждается проведенными ранее как для России, так и для других стран исследованиями [24, 25].

Применение аукционной торговли в системе СТК может рассматриваться как инструмент компенсации и корректировки влияния на свободный рынок, обеспечивая более устойчивое и сбалансированное развитие.

Финальный этап предполагает полномасштабное использование СТК для всей экономики,

¹¹ Охрана окружающей среды в России. 2022. Стат. сб. Росстат. М.: Росстат; 2022. 115 с.

а также для внесения изменений в систему на основе полученных данных и отзывов участников. Это позволит повысить эффективность системы и достичь целей по снижению выброса парниковых газов в России.

ВЫВОДЫ

В ходе проведения исследования были получены следующие результаты:

- проведен отбор лучших практик и методов регулирования объемов выбросов, реализуемых зарубежными странами с наиболее эффективными и высокоразвитыми моделями торговли эмиссионными квотами (на примере европейской, новозеландской и корейской СТК);
- с помощью ARCH- и GARCH-моделей, корреляционно-регрессионного анализа исследована взаимосвязь между динамикой цен на выбросы парниковых газов и общей результативностью действующих СТК;
- выявлены ключевые детерминанты волатильности цен на углеродные квоты и факторы, способствующие их росту, с целью понимания механизмов формирования ценового влияния (к ним были отнесены цена на сырую нефть, газ, уголь, газолин; шоки, вызывающие рецессию; общий объем квот на выбросы углерода; объем бесплатно распределяемых квот; количество отраслей, охваченных СТК; экономическая активность; государственная политика);
- предложены шаги формирования цены на углеродные квоты для целей сокращения объемов выбросов парниковых газов в России.

В заключение следует отметить, что, поскольку в большинстве стран мира формирование рынка углерода входит в официальные национальные и отраслевые стратегии развития, можно ожидать, что развитие СТК продолжится с нарастающим темпом и инвестициями, поэтому создание национальной СТК в России неизбежно.

Результаты проведенного исследования изменчивости цены углеродной единицы (цен на квоты выбросов парниковых газов на европейском, южнокорейском и новозеландском рынках) крайне полезны для разработки и запуска национальной СТК в России, поскольку считается, что сотовая цена квот является важнейшим фактором, влияющим для достижения цели углеродной нейтральности и создания новых источников дохода консолидированного бюджета Российской Федерации. Ежедневная сильная волатильность и резкие изменения цен могут сказаться крайне

неблагоприятно как на развитии отдельных отраслей экономики страны, так и на эффективности работы самой СТК.

В результате исследования СТК выбранных стран был сделан вывод о наличии кластеров волатильности на их рынках углеродных единиц. Это свидетельствует о возможности применения моделей ARCH или GARCH для данных рынков. Во избежание ситуации образования кластеров волатильности на российском рынке необходимо наличие широкого спектра инструментов воздействия на цены углеродных единиц для обеспечения их постепенного роста и сглаживания влияния экономических шоков. Как было рассмотрено в работе, цены на энергоносители могут оказывать существенное влияние на ценообразование углеродных единиц. Особенно негативное влияние оказывают шоки на рынке нефти, газа и угля. Их нивелированию могут служить стабилизационные меры. Для России будет актуальным применение в периоды неблагоприятного изменения конъюнктуры рынка нижних и верхних пределов цен углеродных единиц предоставление дополнительных квот, ограничение количества распределяемых квот.

Многие зарубежные СТК прошли несколько этапов развития, характеризовавшихся постепенным включением в СТК все большего числа компаний, расширением охвата отраслей и уменьшением доли бесплатно распределяемых квот (в общем объеме квот) для предотвращения переложения бремени таких платежей на конечных потребителей и зависимых контрагентов. В то же время излишне мягкие меры на начальном этапе могут привести к образованию избытка квот и, как следствие, долгосрочной стагнации цен.

При появлении на рынке избытка квот должны быть разработаны меры их централизованного сокращения, например, посредством изменения системы аукционных торгов.

Результаты исследования, проведенного с учетом глобальных технологических трендов и потребностей российской экономики и общества, позволяют создать наукоемкие технологии, отвечающие национальным интересам России. Эти технологии помогут улучшить качество жизни граждан, снижая выбросы парниковых газов в атмосферу за счет применения финансовых рычагов управления в виде цен на квоты выбросов.

Материалы статьи вносят вклад в развитие отечественной науки, являясь основой для дальнейших исследований, в которых будут подняты

вопросы организационно-экономического обоснования моделей функционирования рынка углеродных единиц, в том числе биржевой торговли углеродными квотами. Для решения проблемы становления и развития российского рынка углеродных единиц на основе проведенного исследования в дальнейшем предполагается получение

значимых научных результатов, предусматривающих проведение оценки эффективности финансовых мер и инструментов, анализа вызовов, угроз и возможностей, которые определяют основные направления совершенствования в области разработки и развития рынка углеродных единиц в России.

БЛАГОДАРНОСТИ

Статья подготовлена в рамках выполнения проекта № FSSW-2023-0003 «Методология адаптации публичных и корпоративных финансов к принципам “зеленой экономики”», финансируемого за счет средств государственного задания Минобрнауки России. Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова. Москва, Российская Федерация.

ACKNOWLEDGEMENTS

The article is drafted and funded in fulfillment of the Russian Ministry of Science and Higher Education of Russia in the field of scientific activity state assignment No. FSSW-2023-0003 “Methodology for adapting public and corporate finance to the principles of green economy”. Plekhanov Russian University of Economics. Moscow, Russian Federation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леваков П. А., Барина В. А., Полбин А. В. Климатические риски и финансовая стабильность: роль центральных банков и выводы для России. *Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика*. 2023;18(1):204–231. DOI: 10.17323/1996-7845-2023-01-09
2. Ахмадеев Р. Г., Ордов К. В., Косов М. Е. и др. Риски устойчивого развития и ESG-трансформация государства, бизнеса и общества. М.: Юнити-Дана; 2024. 216 с.
3. Bollerslev T., Engle R. F., Nelson. D. ARCH models. In: Engle R. F., McFadden D. L., eds. *Handbook of econometrics*. Vol. 4. Amsterdam: North-Holland; 1994:2959–3038. DOI: 10.1016/S 1573-4412(05)80018-2
4. Engle R. F., Bollerslev T. Modelling the persistence of conditional variances. *Econometric Reviews*. 1986;5(1):1–50. DOI: 10.1080/07474938608800095
5. Ji C.-J., Hu Y.-J., Tang B.-J. Research on carbon market price mechanism and influencing factors: A literature review. *Natural Hazards*. 2018;92(3):761–782. DOI: 10.1007/s11069-018-3223-1
6. Lovcha J., Perez-Laborda A., Sikora I. The determinants of CO2 prices in the EU emission trading system. *Applied Energy*. 2022;305:117903. DOI: 10.1016/j.apenergy.2021.117903
7. Rudnik K., Hnydiuk-Stefan A., Li Z., Ma Z. Short-term modeling of carbon price based on fuel and energy determinants in EU ETS. *Journal of Cleaner Production*. 2023;417:137970. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.137970
8. Shi B., Li N., Gao Q., Li G. Market incentives, carbon quota allocation and carbon emission reduction: Evidence from China’s carbon trading pilot policy. *Journal of Environmental Management*. 2022;319:115650. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.115650
9. Исмагилова О. Д. Ценообразование на углеродные выбросы: мировой опыт. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*. 2023;39(4):470–495. DOI: 10.21638/spbu05.2023.402
10. Лысунец М. В. Углеродное ценообразование как инструмент трансграничного углеродного регулирования и “зеленой” трансформации мировой экономики. *Мир новой экономики*. 2023;17(2):27–36. DOI: 10.26794/2220-6469-2023-17-2-27-36
11. Сергеева Н. В. Углеродный налог: перспективы применения и вызовы для российской экономики. *Экономика. Налоги. Право*. 2023;16(3):138–143. DOI: 10.26794/1999-849X-2023-16-3-138-143
12. Ordov K. V., Tsertseil Ju. S., Zatsarnaya N. A. Prospects for the development of the market of carbon units within the framework of the ESG orientation and the possibility of using green bonds for its development. In: Kaya M. V., Bayrakdar S., eds. *Social and economic studies within the framework of emerging global developments*. Vol. 3. Berlin: Peter Lang GmbH; 2023:145–158.
13. Мусихин В. И., Рогатных Е. Б. Современная система торговли квотами на выбросы и углеродными единицами. *Российский внешнеэкономический вестник*. 2024;(1):39–56. DOI: 10.24412/2072-8042-2024-1-39-56

14. Rontard B., Hernández H.R. Political construction of carbon pricing: Experience from New Zealand emissions trading scheme. *Environmental Development*. 2022;43:100727. DOI: 10.1016/j.envdev.2022.100727
15. Соколенко В., Дьяченко Ю., Тюрина Е. Углеродные рынки в мире: механизмы и трансформация концепций. *Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление*. 2018;(4):119–137. DOI: 10.24866/2311–2271/2018–4/119–137
16. Зацарная Н.А. Налоговые инструменты как рычаги управления параметрами экономических субъектов и среды их функционирования. Идиосинкратический налоговый инструмент — переложение налогового бремени. *Инновационное развитие экономики*. 2021;(2–3):221–229. DOI: 10.51832/2223–7984_2021_2–3_221
17. Lin B., Jia Z. What are the main factors affecting carbon price in emission trading scheme? A case study in China. *Science of the Total Environment*. 2019;654:525–534. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.106
18. Maydybura A., Andrew B. A study of the determinants of emissions unit allowance price in the European Union emissions trading scheme. *Australasian Accounting, Business and Finance Journal*. 2011;5(4):123–142.
19. Ситников С.Л. Некоторые аспекты углеродного ценообразования и его особенности. *Вестник Университета имени О.Е. Кутафина (МГЮА)*. 2023;(9):188–198. DOI: 10.17803/2311–5998.2023.109.9.188–198
20. Цалкович А.М., Храпов П.В. Прогнозирование условной волатильности фондовых индексов при помощи нейронных сетей. *Инженерный журнал: наука и инновации*. 2013;(12):44.
21. Саетова Л.Г. Основные модификации Arch модели. *Проблемы экономики и менеджмента*. 2014;(6):61–63.
22. Li Y., Ni S., Tang X., Xie S., Wang P. Analysis of EU's coupled carbon and electricity market development based on GPT large model and applications in China. *Sustainability*. 2024;16(23):10747. DOI: 10.3390/su162310747
23. Ordov K.V., Tsertseil Yu.S., Zatsarnaya N.A. Assessment and development prospects of the green bond market in Russia. *Lex Humana*. 2023;15(2):268–281.
24. Кашбразиев Р.В. Перспективы экспорта товаров из Турции в страны Европейского союза в контексте углеродного налогообложения. *Финансы: теория и практика*. 2024;28(2):178–191. DOI: 10.26794/2587–5671–2024–28–2–178–191
25. Чайкина Е.В., Бауэр В.П. Финансирование «зеленых» проектов: особенности, риски и инструменты. *Финансы: теория и практика*. 2023;27(2):172–182. DOI: 10.26794/2587–5671–2023–27–2–172–182

REFERENCES

1. Levakov P.A., Barinova V.A., Polbin A.V. Climate risks and financial stability: The role of central banks and implications for Russia. *Vestnik mezhdunarodnykh organizatsii: obrazovanie, nauka, novaya ekonomika = International Organisations Research Journal*. 2023;18(1):204–231. (In Russ.). DOI: 10.17323/1996–7845–2023–01–09
2. Akhmadeev R.G., Ordov K.V., Kosov M.E., et al. Sustainable development risks and ESG transformation of the state, business and society. Moscow: Unity-Dana; 2024. 216 p. (In Russ.).
3. Bollerslev T., Engle R.F., Nelson D. ARCH models. In: Engle R.F., McFadden D.L., eds. *Handbook of econometrics*. Vol. 4. Amsterdam: North-Holland; 1994:2959–3038. DOI: 10.1016/S 1573–4412(05)80018–2
4. Engle R.F., Bollerslev T. Modelling the persistence of conditional variances. *Econometric Reviews*. 1986;5(1):1–50. DOI: 10.1080/07474938608800095
5. Ji C.-J., Hu Y.-J., Tang B.-J. Research on carbon market price mechanism and influencing factors: A literature review. *Natural Hazards*. 2018;92(3):761–782. DOI: 10.1007/s11069–018–3223–1
6. Lovcha J., Perez-Laborda A., Sikora I. The determinants of CO2 prices in the EU emission trading system. *Applied Energy*. 2022;305:117903. DOI: 10.1016/j.apenergy.2021.117903
7. Rudnik K., Hnydiuk-Stefan A., Li Z., Ma Z. Short-term modeling of carbon price based on fuel and energy determinants in EU ETS. *Journal of Cleaner Production*. 2023;417:137970. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.137970
8. Shi B., Li N., Gao Q., Li G. Market incentives, carbon quota allocation and carbon emission reduction: Evidence from China's carbon trading pilot policy. *Journal of Environmental Management*. 2022;319:115650. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.115650
9. Ismagilova O.D. Carbon pricing worldwide. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ekonomika = St. Petersburg University Journal of Economic Studies*. 2023;39(4):470–495. (In Russ.). DOI: 10.21638/spbu05.2023.402

10. Lysunets M.V. Carbon pricing as a tool for cross-border carbon regulation and “green” transformation of the global economy. *Mir novoi ekonomiki = The World of New Economy*. 2023;17(2):27–36. (In Russ.). DOI: 10.26794/2220–6469–2023–17–2–27–36
11. Sergeeva N.V. Carbon tax: Application prospects and challenges for the Russian economy. *Ekonomika. Nalogi. Pravo = Economics, Taxes & Law*. 2023;16(3):138–143. (In Russ.). DOI: 10.26794/1999–849X–2023–16–3–138–143
12. Ordov K.V., Tsertseil Ju.S., Zatsarnaya N.A. Prospects for the development of the market of carbon units within the framework of the ESG orientation and the possibility of using green bonds for its development. In: Kaya M.V., Bayrakdar S., eds. *Social and economic studies within the framework of emerging global developments*. Vol. 3. Berlin: Peter Lang GmbH; 2023:145–158.
13. Musikhin V.I., Rogatnykh E.B. Modern emissions trading and carbon credits system. *Rossiiskii vneshneekonomicheskii vestnik = Russian Foreign Economic Journal*. 2024;(1):39–56. (In Russ.). DOI: 10.24412/2072–8042–2024–1–39–56
14. Rontard B., Hernández H.R. Political construction of carbon pricing: Experience from New Zealand emissions trading scheme. *Environmental Development*. 2022;43:100727. DOI: 10.1016/j.envdev.2022.100727
15. Sokolenko V., Diachenko Yu., Tyurina E. World carbon markets: Mechanisms and concepts transformation. *Izvestiya Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta. Ekonomika i upravlenie = The Bulletin of the Far Eastern Federal University. Economics and Management*. 2018;(4):119–137. (In Russ.). DOI: 10.24866/2311–2271/2018–4/119–137
16. Zatsarnaya N.A. Tax instruments as levers for managing the parameters of economic entities and the environment of their functioning. Idiosyncratic tax instrument — shifting the tax burden. *Innovatsionnoe razvitie ekonomiki = Innovative Development of Economy*. 2021;(2–3):221–229. (In Russ.). DOI: 10.51832/2223–7984_2021_2–3_221
17. Lin B., Jia Z. What are the main factors affecting carbon price in emission trading scheme? A case study in China. *Science of The Total Environment*. 2019;654:525–534. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.106
18. Maydybura A., Andrew B. A study of the determinants of emissions unit allowance price in the European Union emissions trading scheme. *Australasian Accounting, Business and Finance Journal*. 2011;5(4):123–142.
19. Sitnikov S.L. Certain aspects of carbon pricing and its peculiarities. *Vestnik Universiteta imeni O.E. Kutafina (MGYuA) = Courier of the Kutafin Moscow State Law University (MSAL)*. 2023;(9):188–198. (In Russ.). DOI: 10.17803/2311–5998.2023.109.9.188–198
20. Tsalkovich A.M., Hrapov P.V. Forecasting the conditional volatility of stock indices using neural networks. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii = Engineering Journal: Science and Innovation*. 2013;(12):44. (In Russ.).
21. Saetova L.G. Main modifications of the Arch model. *Problemy ekonomiki i menedzhmenta*. 2014;(6):61–63. (In Russ.).
22. Li Y., Ni S., Tang X., Xie S., Wang P. Analysis of EU's coupled carbon and electricity market development based on GPT large model and applications in China. *Sustainability*. 2024;16(23):10747. DOI: 10.3390/su162310747
23. Ordov K.V., Tsertseil Yu.S., Zatsarnaya N.A. Assessment and development prospects of the green bond market in Russia. *Lex Humana*. 2023;15(2):268–281.
24. Kashbraziev R.V. Prospects for export of goods from Turkey to the European Union countries in the context of carbon taxation. *Finance: Theory and Practice*. 2024;28(2):178–191. DOI: 10.26794/2587–5671–2024–28–2–178–191
25. Chaikina E.V., Bauer V.P. Financing “green” projects: Features, risks and tools. *Finance: Theory and Practice*. 2023;27(2):172–182. DOI: 10.26794/2587–5671–2023–27–2–172–182

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / ABOUT THE AUTHORS



Константин Васильевич Ордов — доктор экономических наук, доцент, директор Высшей школы финансов, заведующий кафедрой финансов устойчивого развития, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва, Российская Федерация
Konstantin V. Ordov — Dr. Sci. (Econ.), Assist. Prof., Director of the Higher School of Finance, Head of the Department of Sustainable Development Finance, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0002-8294-5205>
 ordov-reu@mail.ru



Надежда Альбертовна Зацарная — младший научный сотрудник Высшей школы финансов, старший преподаватель кафедры финансов устойчивого развития, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва, Российская Федерация

Nadezhda A. Zatsarnaya — Junior Research Fellow of the Higher School of Finance, Senior Lecturer of the Department of Sustainable Development Finance, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russian Federation

<https://orcid.org/0000-0002-8235-7956>

Автор для корреспонденции / Corresponding author:
czarina-21@yandex.ru



Никита Романович Денисенко — студент Высшей школы финансов, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва, Российская Федерация

Nikita R. Denisenko — student of the Higher School of Finance, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russian Federation

<https://orcid.org/0009-0002-0494-2700>

nikitadenisenko1324@gmail.com

Заявленный вклад авторов:

К.В. Ордов — постановка проблемы, разработка концепции исследования, редактирование научного текста.

Н.А. Зацарная — разработка дизайна исследования, критический анализ литературы, оформление и написание текста статьи, формулировка результатов, ответственность за целостность статьи.

Н.Р. Денисенко — обзор литературы, сбор и анализ данных, написание текста статьи.

Authors' declared contribution:

K. V. Ordov — problem statement, development of the research concept, editing of the scientific text.

N. A. Zatsarnaya — development of research design, critical analysis of literature, design and creation of the text, formulation of results, responsibility for the integrity of the article.

N. R. Denisenko — literature review, data collection and analysis, creation of the text.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflicts of Interest Statement: The authors have no conflicts of interest to declare.

Статья поступила в редакцию 16.12.2024; после рецензирования 20.01.2025; принята к публикации 02.02.2025.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The article was submitted on 16.12.2024; revised on 20.01.2025 and accepted for publication on 02.02.2025.

The authors read and approved the final version of the manuscript.