

Шадрина Елена Валентиновна
Череповецкий государственный университет
Яшалова Наталья Николаевна
Череповецкий государственный университет

Концепция создания экокластера черной металлургии с углеродным рынком на блокчейне

Аннотация. Целью исследования является определение эффективных механизмов, позволяющих снизить углеродный след ведущих промышленных холдингов черной металлургии РФ посредством интеграции кластерной концепции, технологии блокчейн, углеродного рынка и построения прогностических моделей. В процессе работы были использованы общенаучные методы анализа и синтеза, системного анализа, сценарного моделирования. В статье представлено концептуальное описание решения создания углеродного рынка на блокчейне в рамках экокластера, консолидирующего ресурсы ведущих промышленных холдингов черной металлургии РФ. Обозначены структурные элементы экокластера, приоритетные направления и их особенности. Отдельным элементом выделен углеродный рынок на блокчейне, представлены группировка и подробное описание факторов, подчеркивающих преимущества углеродного рынка на основе технологии блокчейн. Разработаны сценарии траектории движения углеродоемкости и потенциальной емкости углеродного рынка с учетом ограничений по масштабированию.

Ключевые слова: экокластер, черная металлургия, углеродный рынок, блокчейн, модель Ферхюльста, климатическая политика, углеродоемкость

Shadrina Elena Valentinovna
Cherepovets State University
Yashalova Natalya Nikolaevna
Cherepovets State University

A concept for creating a ferrous metallurgy eco-cluster with a carbon market on a blockchain

Abstract. The aim of this study is to identify effective mechanisms for reducing the carbon footprint of leading Russian ferrous metallurgy industrial holdings by integrating cluster concepts, blockchain technology, the carbon market, and the development of predictive models. General scientific methods of analysis and synthesis, systems analysis, and scenario modeling were used in the study. This paper presents a conceptual description of a solution for creating a blockchain-based carbon market within an eco-cluster consolidating the resources of leading Russian ferrous metallurgy industrial holdings. The eco-cluster's structural elements, priority areas, and their characteristics are outlined. A separate element is the blockchain-based carbon market, which is grouped and described in detail by factors highlighting the advantages of a blockchain-based carbon market. Scenarios for the trajectory of carbon intensity and potential capacity of the carbon market are developed, taking into account scaling limitations.

Keywords: eco-cluster, ferrous metallurgy, carbon market, blockchain, Verhulst model, climate policy, carbon intensity

Траектория развития национальной экологической политики свидетельствует о том, что государство не просто подчеркивает необходимость решения проблем изменения

климата, но и находит в экологических вызовах точки экономического роста [8]. В последние годы отчетливо прослеживается интенсивная интеграция экологической повестки в стратегическое развитие страны. При этом, данная тенденция наблюдается не только на государственном, но и на корпоративном уровне. В современной конфигурации геополитического противостояния и глобальных экологических рисков, исключительную роль приобретают технологические партнерства в формате прагматичной и гибкой структуры. В рамках данного исследования в качестве технологического партнерства, позволяющего отечественному сектору черной металлургии выйти за рамки реактивной экологической повестки, рассматривается экокластер.

Однако, для того чтобы трансформировать современные вызовы в стратегический потенциал, отечественным металлургическим компаниям принципиально важно не просто объединять усилия в единую структуру, но и создать вокруг нее технологическое поле с центром притяжения, ядром которого может выступить углеродный рынок на основе технологии блокчейн.

Представим концептуальное описание инновационного решения создания углеродного рынка на блокчейне в рамках экокластера. Первоначальный формат подразумевает консолидацию ресурсов бизнеса с последующим масштабированием и вовлечением других заинтересованных сторон, поскольку создание экокластера является непростой задачей и требует многостороннего обсуждения потенциальными бизнес-партнерами приоритетных направлений деятельности и структуры создаваемой системы. Структура экокластера, наряду с наличием координирующего органа, предполагает создание рабочих групп, комитетов, учебного центра, центра развития, а также формирование ключевых структурных единиц, таких как, углеродный рынок на блокчейне, целью которых является научно-исследовательская деятельность, разработка и развитие технологий, монетизация экологических проектов. Принимая во внимание целевой характер данного партнерства, ключевым направлением деятельности является реализация экологических инициатив, обеспечивающих баланс между снижением углеродного следа черной металлургии и устойчивым развитием отрасли, а также экономическими интересами бизнеса. Одновременно с этим, в качестве приоритетных направлений деятельности выступают такие, как научно-исследовательская деятельность, выход на рынки премиальной экологически чистой продукции черной металлургии, интеграция с международными структурами, ориентированными на решение климатических проблем и устойчивое развитие, экспорт углеродных активов, разработка и внедрение цифровых и низкоуглеродных технологий, лоббирование интересов экокластера на государственном уровне.

Как уже было отмечено, ключевым направлением деятельности экокластера является реализации экологических инициатив, направленных на снижение выбросов парниковых газов. Оптимальным представляется формирование диверсифицированного портфеля инициатив, сочетающего как технологические подходы, так и природно-климатические проекты (ПКП). Безусловно, технологические инициативы играют ведущую роль в решении проблемы декарбонизации черной металлургии, поскольку могут позволить достичь углеродной нейтральности отрасли. Однако, высокий потенциал современных технологических решений характеризуется рядом существенных барьеров, среди которых доступность технологий, уровень их развития, возможность масштабирования и необходимый объем инвестиций, достигающих порядка 1,1-1,7 млрд долл., например, при интеграции в производственные переделы «зеленого» водорода. Именно поэтому диверсификация портфеля экологических инициатив и включение в него ПКП может иметь решающее значение, особенно для отечественной отрасли черной металлургии. В частности, Российская Федерация обладает внушительными ресурсами экосистем, доля в общей площади мировых лесов составляет 20%, а мировой пашни – 8%. Потенциал реализации ПКП оценивается в 600-900 млн углеродных единиц в год, по

другим оценкам потенциал экономически-эффективных ПКП составляет 150-200 млн углеродных единиц в год, согласно данным ИГ РАН [5].

Особо следует отметить такие направления, как экспорт углеродных активов и международное сотрудничество, потенциал которых без преувеличения велик. Объем экспорта частично может быть определен по объему дефицита углеродных активов на национальных ETS дружественных стран. В качестве примера приведем данные по Китаю. По оценкам экспертов, к 2030 г. Китай будет ежегодно испытывать дефицит внутренних офсетов в рамках национальных ETS порядка 300-350 млн углеродных единиц, поскольку страна приняла решительные меры в направлении декарбонизации. В частности, в ETS Китая до конца 2025 г. будут добавлены углеродоемкие отрасли, попадающие под действие механизма TYP ЕС (CBAM), такие как цемент, алюминий, продукция черной металлургии и т.д. Начиная с 2027 г. Китай вводит углеродное регулирование и в ETS будут добавлены практически все углеродоемкие отрасли страны¹. Дефицит в ETS Китая может быть восполнен путем приобретения углеродных активов на внешних рынках. Однако подчеркнем, что это обуславливает необходимость решения других вопросов, таких как формирование и согласование механизмов для трансграничной торговли углеродными активами, позволяющих создать единое технологическое поле, интегрирующее цифровую инфраструктуру партнеров, проработка механизмов использования национальных цифровых валют и взаимное признание партнерами «зеленых» стандартов и методологий. Примечательно, что в данном направлении уже делаются практические шаги. Так, инициатива по формированию единого углеродного рынка была поддержана участниками Международного форума устойчивого развития Шанхайской организации сотрудничества (ШОС), который прошел в Омске в апреле 2025 г.². Ранее, в 2024 г. на 29-ой конференции участников Рамочной конвенции ООН по изменению климата, проходившей в Баку, спецпредставитель президента РФ Борис Титов отметил о формировании единого углеродного рынка в рамках Евразийского экономического союза (ЕАЭС), ШОС и БРИКС³. Это открывает большое окно возможностей для углеродоемких компаний, производственные активы которых расположены в рамках перечисленных интеграционных объединений, в части стимулирования декарбонизации и использования новых механизмов монетизации экологических инициатив. Формирующийся единый углеродный рынок может претендовать на лидерство в развитии глобального углеродного рынка. Таким образом, углеродный рынок с использованием технологии блокчейн может служить стратегическим каналом участия нашей страны в формирующемся едином углеродном рынке.

Рассмотрим также отдельные аспекты рынка премиальной экологически чистой продукции черной металлургии. Его формирование и развитие предопределяется рядом факторов, ключевым из которых является необходимость декарбонизации углеродоемких отраслей экономики. Выход на рынок безусловно несет за собой преимущества для бизнеса, но и накладывает определенные обязательства, в частности, соответствие продукции критериям отнесения к статусу экологически чистой или «зеленой», однако, в этом также присутствуют свои плюсы, учитывающие не только интересы бизнеса, но и национальные. Это обусловлено внедрением механизмов трансграничного углеродного регулирования (TYP), в частности механизма CBAM Европейского союза. С января 2026 г. ожидается окончательная стадия разработки и эксперты сходятся во мнении относительно контрольных значений механизма в размере 1,3 т и 0,2 т CO₂, соответственно, для доменно-конвертерной и электродуговой стали, тогда как затраты на импорт оцениваются порядка

¹ Китай движется к абсолютному ограничению выбросов в системе торговли углеродными квотами. URL: https://insights.made-in-china.com/ru/China-Moves-Toward-Absolute-Emissions-Cap-in-Carbon-Trading-System_hGHTIDgYInle.html

² Центр международного диалога. В Омске прошел первый международный форум устойчивого развития ШОС. URL: <https://trampolin.media/news/7/6867>

³ Титов: ЕАЭС, БРИКС и ШОС смогут формировать рыночную цену углеродной единицы. URL: <https://tass.ru/ekonomika/22433029>

50-80 евро за тонну⁴. Несмотря на то, что европейский рынок закрыт от России, необходимо отметить, что в перспективе механизм ТУР может быть введен и в других странах, активно развивающих национальные системы углеродного регулирования и системы торговли углеродными выбросами. Эксперты Минэкономразвития РФ подчеркивают, что не стоит рассматривать Азию, как место, где можно переждать последствия климатических инициатив ЕС, и ожидают, что ТУР в Китае может быть введен в 2028-2030 гг., более того, данная тенденция затронет и другие страны региона⁵.

Отдельное внимание обратим на цифровые технологии, поскольку в современных условиях ключевым детерминирующим фактором, оказывающим влияние на переформатирование кластерной концепции, является цифровизация процессов общественной и профессиональной деятельности, способствующая созданию инновационных продуктов [6]. Выделим основные факторы, способствующие стимулированию компаний черной металлургии к низкоуглеродной трансформации за счет интеграции инновационного подхода, в основе которого лежит углеродный рынок на блокчейне. Факторы разделены на четыре группы: экономические, технологические, организационные и инновационные, каждую из которых рассмотрим более детально.

В рамках группы экономических факторов особую роль играет финансовая поддержка углеродоемких компаний и привлечение инвестиций в реализацию климатических проектов, которая обеспечивается за счет реализации механизма экономического стимулирования использования активов углеродного рынка. Так, компании черной металлургии, снижая углеродный след производимой продукции, посредством интеграции практик устойчивого развития, реализации экологических проектов и мероприятий, могут осуществлять эмиссию углеродных единиц [1]. Наряду с этим обеспечивается также привлечение инвестиций и большего числа инвесторов в сектор низкоуглеродных технологий.

Основными факторами технологической группы являются децентрализация, использование смарт-контрактов и токенизация углеродных активов, за счет которых достигается доступность углеродного рынка для широкого круга заинтересованных сторон, независимо от организационно-правовой формы собственности и географического положения, включая частных инвесторов [2].

Группу организационных факторов можно представить такими, как обеспечение прозрачности и доверия, глобальная доступность. Так, углеродный рынок на основе технологии блокчейн позволяет обеспечивать прозрачность всех сделок купли-продажи углеродных активов, снижая риски мошенничества, данные факторы повышают уровень доверия между всеми участниками сделок [3].

Отдельно необходимо выделить группу инновационных факторов несмотря на то, что они находятся на стыке как технологических, так и экономических факторов. Так, компании могут не только токенизировать углеродные единицы, но и вводить в оборот производные инструменты на углеродные активы, расширяя тем самым свои финансовые возможности. Кроме того, технология блокчейн обеспечивает потенциал для разработки и интеграции инновационных инструментов и решений мониторинга и верификации климатических проектов.

Следуя логике исследования, для оценки потенциала низкоуглеродного развития ведущих металлургических компаний в рамках экокластерной концепции, разработаем сценарии траектории движения углеродоемкости и потенциальной емкости углеродного рынка с учетом ограничений по масштабированию. Для моделирования сценариев использована модель Ферхюльста, описывающая ограниченный рост систем [4; 9; 10]. Базовая формула модели имеет следующий вид:

⁴ Европейский рынок экологически чистой стали: период затишья. URL: <https://stal-rulon.ru/blog/news/evropeiskii-rynok-ekologicheskii-chistoi-stali-period-zatishia/>

⁵ В минэкономразвития призвали не считать Азию «тихой гаванью» от углеродного налога ЕС. URL: https://www.economy.gov.ru/material/news/v_minekonomrazvitiya_prizvali_ne_schitat_aziyu_tihoy_gavanyu_ot_uglerodnogo_naloga_es.html

$$N_t = N_0 * K / N_0 + (K - N_0) * e^{-(r \cdot t)}$$

где N_t – численность в момент времени t ; N_0 – исходная численность; K – поддерживающая емкость среды; e – основание натуральных логарифмов; r – врожденная скорость роста; t – фактор времени.

Классическая модель была адаптирована для формирования сценариев движения углеродоемкости и модифицирована по мере добавления факторов. В моделях использовано расчетное значение среднего уровня углеродоемкости, выполненное на основе данных, характеризующих углеродоемкость по областям Охвата 1 и 2 компаний ПАО «Северсталь», ПАО «НЛМК», ПАО «ММК», ПАО «Мечел», АО «ХК «Металлоинвест» и Евраз за период 2018-2024 гг. Таким образом, в качестве базового среднего уровня углеродоемкости для первого года расчетного периода принято значение 2,31 т CO_2 / т. Временной период в сценариях охватывает 43 года, начиная с базисного 2018 г. и заканчивая 2060 г. Для построения прогнозов установлено предельное значение (цель) по снижению углеродоемкости до уровня 0,84 т CO_2 / т к 2060 г., что составляет порядка 63% от среднего базисного уровня 2018 г. В качестве скорости роста (снижения) углеродоемкости использовано расчетное значение совокупного среднегодового темпа роста (CAGR), составляющее 0,004387.

Для оценки качества полученных результатов использованы такие показатели, как средняя ошибка аппроксимации, стандартное отклонение и стандартная ошибка, информационные критерии AIC (Akaike Information Criterion) и BIC (Bayesian Information Criterion). Подбор параметров осуществлялся путем минимизации, поэтому выбор был сделан в пользу моделей, имеющих наименьшие значения перечисленных критериев. Кроме того, для оценки статистической значимости рассчитаны t-статистика и p-value при уровне значимости 0,05, для оценки точности прогнозных значений был рассчитан доверительный интервал с вероятностью 95%.

После ряда итераций отобраны три модели и соответствующие им сценарии развития, позволяющие определить прогнозируемую траекторию среднего уровня углеродоемкости ведущих компаний черной металлургии РФ. В рамках инерционного сценария, использована базовая модель, предполагающая неизменность условий. В адаптивном сценарии используется модель, отражающая предел снижения углеродоемкости с учетом оптимальной скорости ее изменения и неизменности других факторов. В сценарии инвестиционного роста использована модель, предполагающая учет дополнительного фактора инвестиций. Прогнозные значения углеродоемкости отражены на рисунке 1.

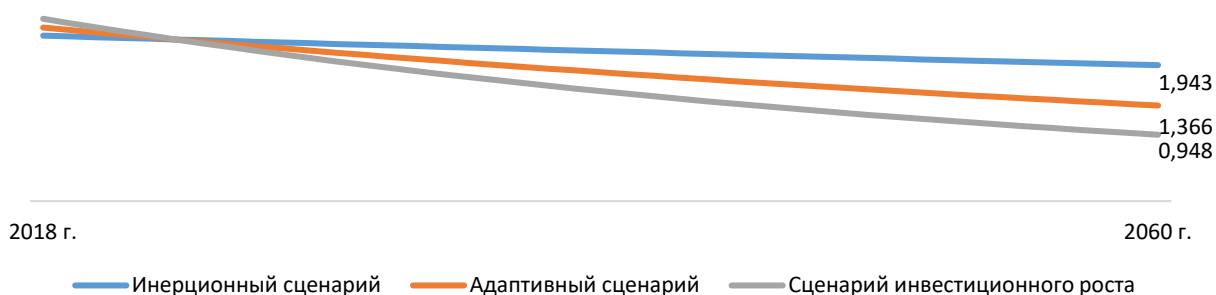


Рисунок 1. Разработанные сценарии траектории движения углеродоемкости ведущих промышленных холдингов черной металлургии РФ

Источник: авторская разработка

Инерционный сценарий является базовым для сравнения траектории движения углеродоемкости при изменении параметров модели. В рамках данного сценария результаты расчетов показали, что к 2060 г. при сохранении текущего уровня среднегодового темпа снижения, углеродоемкость может снизиться только до уровня 1,943

т CO_2 /т. С вероятностью 95% можно утверждать, что значение будет находиться в пределах от 1,960 т CO_2 /т до 1,925 т CO_2 /т с учетом доверительного интервала 0,017 т CO_2 /т. Оценка качества модели показала, что в среднем разница между расчетным значением углеродоемкости по модели и фактическим составляет 0,14 т CO_2 /т. Стандартное отклонение составило 0,02 т CO_2 /т, а стандартная ошибка – 0,01 т CO_2 /т. Значения информационных критериев AIC и BIC составили 13,64 и 14,81, соответственно. Это минимальные значения критериев оценки качества, на основании чего был сделан выбор. Проведенный t-тест показал, что параметры являются статистически значимыми. Эмпирическое значение t-статистики составило 16,727 при табличном уровне 2,3646, а расчетное значение p-value, составляющее 0,000003, значительно ниже критического уровня 0,05.

Калибровка второй модели позволила определить оптимальное значение скорости снижения углеродоемкости, при этом ограничение предельного уровня снижения углеродоемкости к 2060 г. составило 1,366 т CO_2 /т. С вероятностью 95% значение будет находиться в диапазоне от 1,312 т CO_2 /т до 1,420 т CO_2 /т. Выбор модели также определялся наименьшими значениями показателей оценки. Так, параметры качества модели показали, что ошибка аппроксимации составила 0,16 т CO_2 /т, при стандартном отклонении 0,07 CO_2 /т и стандартной ошибке 0,03 CO_2 /т. Расчетное значение t-статистики, составляющее 7,424, превышает табличное с уровнем p-value 0,0003, что ниже критического значения 0,05. Следовательно, параметры модели являются статистически значимыми.

При введении дополнительного фактора инвестиций, модель, используемая в третьем сценарии, позволила установить, что потенциал снижения углеродоемкости к 2060 г. может составить 0,948 т CO_2 /т. С вероятностью 95% значение будет находиться в интервале от 0,854 т CO_2 /т до 1,041 т CO_2 /т. В среднем погрешность аппроксимации составила 0,19 т CO_2 /т, стандартное отклонение 0,12 CO_2 /т, а стандартная ошибка 0,05 CO_2 /т. Значение информационных критериев AIC и BIC составили 12,24 и 11,46, соответственно. В рамках проведенного t-теста, полученное значение t-статистики, составляющее 4,106, превышает табличное, а уровень p-value 0,006 значительно ниже критического 0,05. Таким образом, параметры модели являются статистически значимыми.

Второй этап заключается в моделировании сценариев, описывающих потенциальную емкость и динамику углеродного рынка с учетом ограничений по предельному уровню снижения углеродоемкости при заданных условиях в модели и ограничений по масштабированию. Целью второго этапа является определение объема базовых активов для реализации углеродного рынка на основе технологии блокчейн, позволяющего достичь к 2060 г. уровня углеродоемкости, установленного на первом этапе в рамках третьего сценария, т.е. 0,948 т CO_2 /т. Таким образом, основными ограничениями и факторами, влияющими на потенциальную емкость, динамику и масштабирование, выступают такие, как предельные значения снижения углеродоемкости, среднегодовой объем производства стали, приходящийся на ведущие металлургические компании, стартовый объем базовых активов, предельный объем предложения активов, время (год) начала активного роста, а также интегральные показатели влияния рыночных движений внутри каждого года, рассчитанные на основе амплитуды и частоты колебаний, коэффициента начального прироста участников и темпов прироста, коэффициента максимальной величины снижения из-за рисков и интенсивности влияния рисков. Также необходимо отметить, что в рамках моделирования потенциальный объем активов углеродного рынка оценивается в эквиваленте CO_2 без перевода в стоимостную оценку. Таким образом, учитывая начальный средний уровень углеродоемкости компаний, прогнозное значение углеродоемкости 0,948 т CO_2 /т и средний объем производства, потенциально возможный объем базовых активов может составить 73 435,26 тыс. т. Далее, с использованием модели Ферхульста был рассчитан логистический рост, который лег в основу построения трех сценариев: консервативного, адаптивного и сценария роста (рисунок 2). Для каждого сценария с учетом интегральных показателей рыночных

движений внутри года были определены стартовый объем активов, траектория движения с точечным прогнозом.

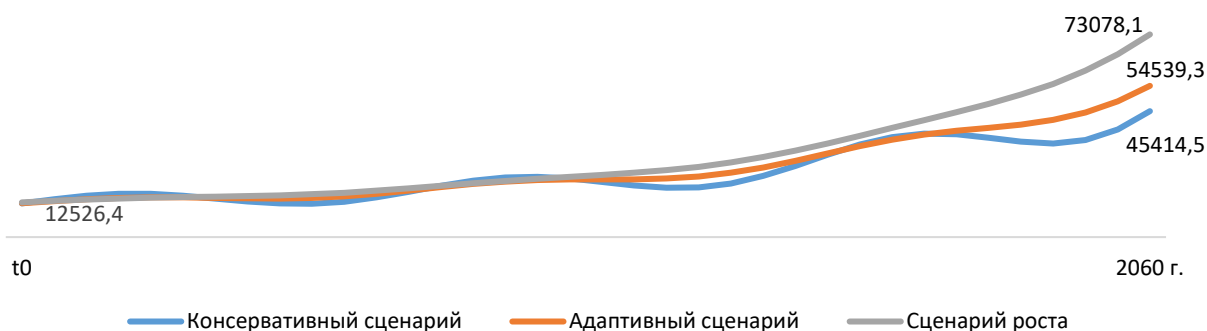


Рисунок 2. Разработанные сценарии емкости углеродного рынка в рамках экোকластера ведущих промышленных холдингов черной металлургии
Источник: авторская разработка

Моделирование позволило получить следующие результаты. Стартовый объем активов в рамках первого сценария составляет 12 105,06 тыс. т, потенциально возможный объем не достигнут, т.к. предельное значение к 2060 г. составило 45 414,47 тыс. т, что обусловлено высокой амплитудой колебаний. Снижение объемов наблюдается в период 2029-2035 гг. и 2042-2046 гг. Для консервативного сценария начальный прирост участников составляет 0,05 с темпом дальнейшего прироста 0,1 при максимальном значении величины снижения объемов из-за рисков 0,1 с интенсивностью снижения 0,05. В адаптивном сценарии величина стартового объема равняется 12 220,35 тыс. т, амплитуда колебаний ниже, чем в консервативном сценарии, а начальный прирост участников выше и составляет 0,06 при сохранении остальных параметров как в консервативном сценарии. Предельное значение объема активов составит 54 539,32 тыс. т., т.е. потенциально возможный объем также не достигнут, но превышает уровень консервативного сценария. В сценарии ускоренного роста, несмотря на аналогичное, как и в двух предыдущих сценариях влияние рисков, амплитуда колебаний значительно ниже и более ускоренный темп прироста участников. Объем базовых активов к 2060 г. достигает значения 73 078,07 тыс. т, что чуть ниже потенциально возможного объема, составляющего 73 435,26 тыс. т, соответствующего прогнозируемому значению углеродоемкости 0,948 т CO₂/т, рассчитанному на первом этапе.

Таким образом, объединение усилий и ресурсов ведущими компаниями черной металлургии в рамках экোকластера является важным шагом на пути к низкоуглеродному развитию. Экосистемные мосты в изменившейся реальности приобретают особую ценность и выступают новой экономической, технологической и инвестиционной платформой калибровки стратегических интересов партнеров. Как видится, возможно именно такие линии связи в формате инвестиционного и технологического сотрудничества могут сыграть ключевую роль в перезапуске национального экологического трека с учетом глобальных климатических и геополитических сдвигов.

Обозначим направления дальнейших исследований. Прежде всего, необходима глубокая проработка вопросов в части выбора сети, на основе которой будет разработана блокчейн-платформа углеродного рынка и механизмов консенсуса, определение минимального функционала новой платформы, финансовой модели и механизмов монетизации, а также определение цифровой валюты торгов. Кроме того, для реализации потенциала интеграции с другими углеродными рынками, в рамках исследования уже была отмечена необходимость проработки таких вопросов, как формирование и согласование механизмов для трансграничной торговли углеродными активами, механизмов использования национальных цифровых валют и взаимное признание партнерами «зеленых» стандартов и методологий, но в первую очередь – налаживание

дипломатических связей с партнерами. Сценарное моделирование необходимо расширить с использованием других моделей, в частности, модели множественной регрессии, модели Тапио, логистической регрессии и т.д., и, соответственно, факторами, которые потенциально оказывают влияние на углеродоемкость продукции или валовые выбросы. Для повышения точности результатов оценки используемых моделей, в т.ч. модели Ферхюльста, необходимо продолжение анализа с использованием методов бутстрэпа и Монте Карло, в рамках которых генерируется гораздо большее число сценариев. Так, моделирование синтетических рядов динамики и параметров моделей посредством генерации случайных чисел через множество итераций, позволит увидеть диапазон потенциальных вариантов будущего состояния исследуемых переменных, выбрать наиболее оптимальные.

Список источников

1. Агапов Д.А. Углеродный рынок и перспективы его развития в России // Аграрное и земельное право. №1(217). 2023. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uglerodnyy-rynok-i-perspektivy-ego-razvitiya-v-rossii>
2. Заколдаев Д.А., Ямщиков Р.В., Ямщикова Н.В. Технология блокчейн в России: достижения и проблемы // Вестник Московского государственного областного университета (электронный журнал). 2018. №2. С. 1-15. URL: https://www.websoftshop.ru/pdf/the_blockchain_technology_in_russia.pdf
3. Зеленова А.А., Сесорова О.В., Смирнов С.А. Развитие цифровой экономики с технологией блокчейн // Экономика и предпринимательство. №10. 2024. URL: http://www.intereconom.com/rekviziti/10-2024/50-19%204_Зеленова,%20Сесорова,%20Смирнов%20%20=POM=%20Развитие%20цифровой.pdf
4. Костырин Е.В., Дрынкин С.Г. Уравнение Ферхюльста как инструмент демографического прогнозирования // Научные труды Вольного экономического общества России. 2023. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uravnenie-ferhyulsta-kak-instrument-demograficheskogo-prognozirovaniya>
5. Куричев Н.К., Птичников А.В., Шварц Е.А., Кренке А.Н. Природно-климатические проекты в России: ключевые проблемы и условия успеха. 2023. Т. 87. №4. URL: <https://sciencejournals.ru/view-article/?j=izvgeo&y=2023&v=87&n=4&a=IzvGeo2304004Kurichev>
6. Ледок А.С., Жавненко Д.А. Создание экологических кластеров: значение и направления формирования в условиях цифровизации // Экология. Человек. Бизнес. 2021. С. 303-306. URL: http://edoc.bseu.by:8080/bitstream/edoc/96983/1/Ledok_303_306.pdf
7. Попова И.М., Колмар О.И. Низкоуглеродное развитие России: вызовы и возможности в новых условиях // Вестник международных организаций. 2023. Т. 18. №4. URL: https://iorj.hse.ru/data/2024/03/15/2111453951/3%20Попова_Колмар%2062-95.pdf
8. Стародубец Н. В., Грищенко Ю. О., Белик И. С., Никулина Н. Л. Экономическая оценка последствий введения трансграничного углеродного регулирования для регионального промышленного комплекса (на примере Свердловской области) // Journal of Applied Economic Research. 2022. Т. 21, № 4. С. 708–733. URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/122414/1/jaer_2022_21_4_005.pdf
9. Tong M, Duan H, He L. A novel Grey Verhulst model and its application in forecasting CO₂ emissions. Environ Sci Pollut Res Int. 2021 Jun;28(24):31370-31379. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33608789/>
10. Xiaoling W., Qinglong Sh. Decomposing the decoupling of CO₂ emissions and economic growth in China's iron and steel industry. URL: https://www.researchgate.net/publication/336735492_Decomposing_the_decoupling_of_CO2_emissions_and_economic_growth_in_China's_iron_and_steel_industry

Сведения об авторе

Шадрина Елена Валентиновна, аспирант кафедры экономики и управления Бизнес-школы (Институт), Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия

Яшалова Наталья Николаевна, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики и управления Бизнес-школы, Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия

Information about the author

Shadrina Elena Valentinovna, Postgraduate Student, Department of Economics and Management, Business School, Cherepovets State University, Cherepovets, Russia

Yashalova Natalya Nikolaevna, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Economics and Management, Business School, Cherepovets State University, Cherepovets, Russia