

## Роль цифровизации в развитии углеродного рынка в мире

**Варвара Алексеевна ГРЯЗНОВА,**  
МГИМО МИД России  
(119454, Москва, проспект Вернадского, 76),  
кафедра международных экономических отношений  
и внешнеэкономических связей им. Н.Н. Ливенцева,  
аспирант, E-mail: varvaragryaznova@gmail.com;

УДК:502/.504:004;  
ББК:20.1:32; Jel:Q56; Jel:L63  
DOI: 10.24412/2072-8042-2024-5-16-37

**Наталья Аркадьевна ПИСКУЛОВА,**  
доктор экономических наук, профессор,  
МГИМО МИД России  
(119454, Москва, проспект Вернадского, 76), кафедра  
международных экономических отношений и внешне-  
экономических связей им. Н.Н. Ливенцева, профессор,  
E-mail: n.piskulova@mail.ru

### Аннотация

Глобальное потепление является одним из главных вызовов современности. Для активизации борьбы с ним необходимо более активное перенаправление и расширение потоков финансирования на решение этой проблемы. Этому способствует рост углеродного рынка, который может быть значительно ускорен с помощью комплексного внедрения цифровых технологий. Исследование выявляет роль используемых цифровых технологий в отдельных сферах и на ряде этапов функционирования углеродного рынка, а также преимущества и недостатки их применения.

С применением таких теоретических методов научного исследования, как дедукция и анализ, дается характеристика современного состояния мирового углеродного рынка. С помощью методов сравнения и синтеза выявлена роль отдельных цифровых технологий в развитии углеродного рынка в мире.

Авторы приходят к выводу, что комплексное использование цифровых технологий может оказать двоякое влияние на углеродный рынок. С одной стороны, их применение может стимулировать развитие региональных углеродных рынков путем повышения их транспарентности, надежности и стандартизации, что в перспективе могло бы способствовать их объединению в глобальный рынок и преодолению фрагментации. С другой стороны, проводимая рядом крупных стран и блоков политика по усилению технологической обособленности регионов способна еще больше увеличить фрагментацию углеродного рынка на глобальном уровне.

**Ключевые слова:** углеродный рынок, углеродные квоты, углеродные кредиты, офсет, цифровые технологии, блокчейн, Интернет вещей, большие данные, искусственный интеллект.

## The Role of Digitization in the Global Carbon Market

*Varvara Alekseyevna GRYAZNOVA,*

*MGIMO University (76, Prospect Vernadskogo, Moscow, Russia, 119454), Department of International Economic Relations and Foreign Economic Affairs named after N.N. Liventsev, Post-graduate student, E-mail: varvaragryaznova@gmail.com*

*Natalya Arkadievna PISKULOVA,*

*Doctor of Sciences in Economics, Professor, MGIMO University (76, Prospect Vernadskogo, Moscow, Russia, 119454), Department of International Economic Relations and Foreign Economic Affairs named after N.N. Liventsev, Professor, E-mail: n.piskulova@mail.ru*

### Abstract

Global warming is one of the major challenges of our time. To intensify the fight against it, it is necessary to redirect and expand financial flows to address this problem. This is facilitated by the growth of the carbon market, which can be significantly accelerated through the comprehensive adoption of digital technologies. The study reveals the role of digital technologies used in certain areas and at several stages of the carbon market, as well as the advantages and disadvantages of their application.

Using such theoretical methods of scientific research as deduction and analysis, the characteristics of the current state of the global carbon market are given. With the help of comparison and synthesis methods, the role of individual digital technologies in the development of the carbon market in the world is revealed.

The authors conclude that the comprehensive use of digital technologies may have a twofold impact on the carbon market. On the one hand, their application may stimulate the development of regional carbon markets by increasing the transparency, reliability, and standardization of markets, which in the future could contribute to their integration into a global market and overcoming fragmentation. On the other hand, the policy pursued by several large countries and blocs to strengthen the technological isolation of regions can further increase the fragmentation of the carbon market at the global level.

**Keywords:** carbon market, carbon allowances, carbon credits, offsets, digital technologies, blockchain, Internet of Things, Big Data, artificial intelligence.

### ВВЕДЕНИЕ

Изменение климата является одной из главных глобальных проблем современности. Его ключевой причиной признается увеличение концентрации выбросов парниковых газов (ПГ) в результате антропогенной деятельности, что было закреплено на международном уровне в документах Организации Объединенных Наций (ООН). В настоящее время принимаемых в мире мер для борьбы с глобальным потеплением явно недостаточно и средняя температура на планете продолжает возрастать ускоренными темпами: в 2023 г. она была на  $1,45^{\circ}$  ( $\pm 0,12^{\circ}$ ) выше до-



индустриального уровня (1850-1900 гг.),<sup>1</sup> т.е. приблизилась к максимально допустимому для избежания наиболее опасных последствий потепления показателю в 1,5°.

Для активизации борьбы с глобальным изменением климата необходимо повышение заинтересованности стран и компаний в более активном перенаправлении и расширении потоков финансирования на решение этой проблемы. Главным стимулом вовлечения бизнеса в финансирование служит установление цены на углерод через внедрение ключевых мер углеродного регулирования – углеродного налогообложения и квотирования выбросов ПГ, а также механизмов углеродного кредитования. Помимо этого, важную роль в борьбе с изменением климата играют добровольные инициативы по сокращению выбросов ПГ, подразумевающие реализацию климатических проектов по предотвращению эмиссии и поглощению ПГ.

Для вовлечения бизнеса в климатические проекты цены на углеродные единицы должны быть достаточно привлекательными. Вместе с тем слишком высокие цены и соответственно повышенная финансовая нагрузка могут ограничивать участие бизнеса в торговле на углеродном рынке. Усилению заинтересованности компаний могло бы способствовать создание глобального рынка углеродных единиц, что позволит расширить спрос и предложение. В настоящее время для формирования рынка имеются многочисленные препятствия, усугубляемые высокой степенью геополитической напряженности.

В настоящее время углеродный рынок в мире характеризуется высокой степенью фрагментации, усиливающейся низкой степенью прозрачности и стандартизации данных, а также сомнительной надежностью показателей снижения выбросов ПГ. Решению этих вызовов может способствовать внедрение цифровых технологий (ЦТ). Оценка влияния цифровизации на развитие углеродного рынка затруднена, т.к. ряд таких технологий еще не применяется на практике. В этой связи целью данного исследования является раскрытие роли уже используемых цифровых технологий в отдельных сферах и на ряде этапов функционирования углеродного рынка, выявление недостатков их применения и оценка перспектив влияния процессов цифровизации на углеродный рынок в новых геополитических условиях.

### УГЛЕРОДНЫЙ РЫНОК

Углеродный рынок – это рынок торговли углеродными единицами, который сформировался вследствие разработки и применения мер регулирования выбросов парниковых газов.<sup>2</sup> К таким мерам относятся: введение углеродного налога, квотирование эмиссии ПГ, обязательства в рамках корпоративной и социальной ответственности компаний, количественные ограничения по углеродному следу продукции и др.

Результатом введения этих мер стало формирование цены на углеродные единицы: в настоящее время углеродное ценообразование распространяется примерно на четверть глобальной эмиссии ПГ по сравнению с 5% в 2011 г.<sup>3</sup>

Углеродный рынок подразделяется на два сегмента в зависимости от спроса – регулируемый и добровольный. Регулируемый сегмент отличается от добровольного системой управления – наличием нормативно-правовой базы, соответствующих уполномоченных органов и регламентируемой государством инфраструктурой, а также обязательной к выполнению национальной и международной цели по сокращению выбросов ПГ. При этом оба рынка отличаются высокой степенью фрагментации из-за различного уровня регулирования, разных требований и условий торговли.

Регулируемый углеродный рынок с точки зрения спроса подразделяется на международный и национальный/региональный. Спрос на регулируемом национальном/региональном углеродном рынке создают организации, которым необходимо выполнить свои обязательства по снижению эмиссии ПГ в соответствии с национальным/региональным законодательством. В мире насчитывается 73 регулируемые инициативы по установлению цены на углерод в 39 странах, которые охватывают 11,66 Гт CO<sub>2</sub>-экв. (23% глобальных выбросов ПГ).<sup>4</sup>

Предложение на регулируемом национальном/региональном углеродном рынке создается углеродными квотами, единицами выполнения квоты и углеродными кредитами или, как их часто называют, «оффсетами». Углеродные квоты распределяются бесплатно или продаются на аукционах специально уполномоченными органами в рамках систем квотирования выбросов ПГ. Операции с углеродными квотами осуществляются на первичном регулируемом углеродном рынке. Единицы выполнения квоты образуются в результате верификации результата выполнения установленной квоты в рамках систем торговли квотами на выбросы (СТВ) и представляют собой разницу между установленной квотой и фактическим объемом эмиссии ПГ.<sup>5</sup> В случае, если подпадающее под регулирование предприятие эмитировало меньший по сравнению с выделенной квотой объем выбросов ПГ, оно может продать единицу выполнения квоты на вторичном регулируемом углеродном рынке.

Углеродные кредиты образуются в результате реализации климатического проекта, направленного на сокращение эмиссии ПГ. Если углеродные квоты и единицы выполнения квоты приобретаются только участниками систем квотирования, то углеродные кредиты – организациями, подпадающими под регулирование в рамках систем квотирования и углеродного налогообложения. Приобретение углеродных кредитов на регулируемых рынках разрешено не всегда: системы торговли квотами ЕС, Австрии, Германии, Черногории, Швейцарии, Н. Зеландии и США (Массачусетс) не позволяют приобретать углеродные кредиты для выполнения обязательств по объему эмиссии ПГ.



Углеродные кредиты, которые допускаются к продаже на регулируемом национальном/региональном рынке, выпускаются в рамках механизмов углеродного кредитования, которые классифицируются по уровню юрисдикции на международные, национальные, региональные.

Национальные и региональные углеродные кредиты эмитируются в результате реализации климатических проектов на территории страны или региона, подпадающего под схему регулирования. Национальные механизмы используются в Китае, Таиланде, Австралии, Испании, а региональные – на о. Сахалин (РФ), в Калифорнии (США), Британской Колумбии, Альберте, Новой Шотландии (Канада) и в ряде других юрисдикций.

Углеродные кредиты от международных механизмов законодательно разрешено использовать только для выполнения квоты в Новой Шотландии (Канада) и Республике Корея. Ключевым назначением международных углеродных кредитов является удовлетворение спроса на международном регулируемом рынке, где страны приобретают углеродные кредиты для выполнения своих международных обязательств по снижению выбросов ПГ. Они устанавливаются в рамках Парижского соглашения или Схемы компенсации и сокращения выбросов углерода ИКАО ООН для международной авиации (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation, CORSIA). Международные механизмы углеродного кредитования были сформированы в рамках Киотского протокола 1997 г. к Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН) изначально с целью выполнения количественных обязательств развитых стран и стран с переходной экономикой по сокращению выбросов, установленных Протоколом. Протокол предусматривал использование двух механизмов: механизма чистого развития (МЧР) и проектов совместного осуществления (ПСО).

МЧР предполагал финансирование развитыми странами и странами с переходной экономикой климатических проектов в развивающихся государствах и получение за это сертифицированных сокращений выбросов (Certified Emissions Reductions – CERs). В рамках ПСО развитая страна или страна с переходной экономикой с относительно высокими затратами на сокращение выбросов ПГ на внутреннем рынке могла реализовать проект (финансируя или передавая технологию) в другой развитой стране или стране с переходной экономикой с относительно низкими затратами на снижение эмиссии. В результате страна-инвестор получала углеродные единицы (Emission Reduction Units – ERUs).

Киотский протокол продемонстрировал свою неэффективность из-за подхода к реализации мер «сверху-вниз», предусматривающего установление регулируемыми органами развитых стран и стран с переходной экономикой количественных обязательств по снижению эмиссии по отношению к 1990 г. В ряде стран выполнение данных условий не требовало особых усилий и в этой связи оказалось неэффективным. Так, Россия перевыполнила свои обязательства за первый период дей-

ствия Киотского протокола (2008-2012 гг.), т.к. эмиссия ПГ в стране сократились без дополнительных действий в условиях экономического спада 1990-х годов. В этой связи появилась необходимость в выработке нового соглашения. В 2015 г. было подписано Парижское соглашение по снижению выбросов ПГ, в котором использовался новый подход «снизу-вверх», предусматривающий установление добровольных целей по сокращению эмиссии, т.н. национально-определяемый вклад (Nationally Determined Contribution, NDC), странами-участницами.

Статьей 6 Парижского соглашения предполагается заменить МЧР и ПСО на два связанных между собой механизма генерации углеродных кредитов. Статьей 6.2 соглашения был учрежден механизм генерации передаваемых на международном уровне результаты предотвращения изменения климата (Internationally Transferred mitigation outcomes – ITMOs), которые можно продавать как на регулируемом, так и добровольном рынке. Единицы ITMOs образуются в результате реализации климатического проекта в одной стране, который финансируется другой страной, получающей ITMOs. Статья 6.4 Парижского соглашения предполагает создание глобального добровольного углеродного рынка. Углеродные единицы, полученные по статье 6.4, A6.4ERs могут быть использованы только на добровольном рынке, но при выполнении определенных требований возможен их перевод в ITMOs для торговли на регулируемом рынке. По состоянию на март 2024 г. международный регулируемый рынок Парижского соглашения еще не начал работать в полной мере, но в декабре 2023 г. были выпущены первые углеродные единицы ITMOs.

Помимо международных, национальных и региональных механизмов углеродного кредитования, существуют независимые механизмы, единицы от которых в основном не допускаются к торговле на регулируемых рынках. Независимые механизмы углеродного кредитования, управляемые независимыми неправительственными организациями, функционируют на основании стандартов, включающих требования к климатическим проектам, в результате реализации которых существует возможность выпуска углеродных единиц по данному стандарту. Крупнейшим независимым механизмом углеродного кредитования является Verified Carbon Standard (VCS) организации Verra, также выделяют Gold Standard, American Carbon Registry, Climate Action Reserve и Plan Vivo.

Предложение углеродных единиц, выпущенных в рамках независимых механизмов, превышает суммарный выпуск других механизмов кредитования и в среднем за последние 5 лет составило 55% в год от всех выпущенных углеродных кредитов. Доминирование таких единиц связано с небольшим числом национальных/региональных механизмов в мире и переходным периодом в рамках международных механизмов углеродного кредитования от Киотского протокола к Парижскому соглашению.

Объем предложения всех углеродных кредитов за последние 5 лет рос в среднем ежегодно на 16% (см. рисунок 1).



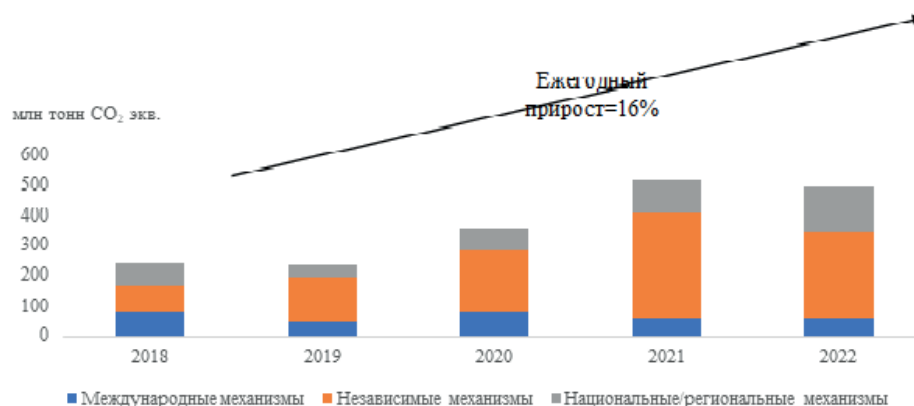


Рис.1 Выпуск углеродных единиц различными механизмами углеродного кредитования  
 Fig.1 Issuance of carbon units by various carbon lending mechanisms

**Источник:** World Bank Group // State and trends of Carbon Pricing 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/58f2a409-9bb7-4ee6-899d-be47835c838f> (дата обращения: 21.11.2023)

На фоне общего тренда на повышение предложения углеродных кредитов в 2022 г. произошло его сокращение за счет уменьшения доли независимых механизмов углеродного кредитования в результате сложных макроэкономических условий, публичной критики эффективности ряда типов климатических проектов и высокой неопределенности в отношении использования таких единиц. В этой связи проверка климатических проектов стала занимать больше времени, а многие валидаторы и верификаторы лишились своих аккредитаций.

При этом запросы на регистрацию и проверку (верификацию) проектов в компании Verra, которая управляет VCS, в 2022 г. выросли на 243% и 90% соответственно по сравнению с 2021 г.<sup>6</sup> Резкий рост запросов привел к задержкам в выдаче кредитов на фоне более тщательных проверок и снижения количества аккредитованных органов. Несмотря на это, данные свидетельствуют о том, что в ближайшие годы, по мере того как механизмы кредитования и другие заинтересованные стороны будут адаптироваться к возросшему спросу, на рынок может быть выведен потенциально значительный объем нереализованного предложения.

Учитывая высокие издержки компаний от ужесточения климатической политики в мире, которые могут составить триллионы долларов, все большее значение приобретает участие бизнеса в международных или региональных/национальных добровольных углеродных рынках, где торгуются преимущественно углеродные



единицы, полученные в рамках независимых механизмов. По оценкам специалистов, по состоянию на 2023 г. менее 40% компаний в разных секторах находятся на пути выполнения различных обязательств в области устойчивого развития.<sup>7</sup> Помимо риска высоких потерь для бизнеса в результате выполнения добровольных климатических обязательств, другим стимулом участия компаний на добровольном углеродном рынке является повышение «зеленого» имиджа вследствие добровольного сокращения углеродного следа своей продукции и соответственно привлечение новых инвесторов в экологические проекты.

Рисунок 2 демонстрирует актуальную структуру углеродного рынка, который в зависимости от спроса подразделяется на регулируемый и добровольный рынок, а в зависимости от предложения – на рынок углеродных квот и кредитов. Рынок углеродных квот характеризуется предложением углеродных квот и спросом со стороны регулируемых организаций. В рамках рынка углеродных кредитов подразумевается создание предложения со стороны механизмов углеродного кредитования и спроса со стороны регулируемых организаций, а также организаций, добровольно желающих приобрести углеродные кредиты.

В последние годы добровольные углеродные рынки получили толчок к развитию под влиянием ужесточения углеродного регулирования и активизации участия бизнеса. Для решения вопросов стандартизации и фрагментации на добровольном углеродном рынке были созданы организации Комитет по изменению климата (Climate Change Committee), Добровольная инициатива по обеспечению целостности углеродных рынков (Voluntary Carbon Markets Integrity Initiative), Инициатива по качеству углеродных кредитов (Carbon Credit Quality Initiative) и ряд других.

В перспективе прогнозируется более динамичное развитие добровольных рынков при условии дальнейшего совершенствования управления качеством реализации климатических проектов, их стандартизации и повышения прозрачности. Регулируемый и добровольный рынки, существовавшие вплоть до недавнего времени относительно независимо, в последние годы демонстрируют тенденцию к сближению через унификацию предложения углеродных единиц на этих рынках. Например, независимые углеродные единицы, выпущенные по стандарту VCS, могут приобретаться компаниями, подпадающих под углеродный налог в Колумбии и ЮАР, а также авиакомпаниями для выполнения обязательств международной регулируемой схемы CORSIA.





Регулируемый рынок	Добровольный рынок
<p><b>Спрос:</b> выполнение региональных, национальных и международных обязательств по сокращению выбросов парниковых газов</p> <p><b>1. Системы торговли квотами на выбросы (ETS), не разрешающие покупать углеродные единицы от климатических проектов (кредиты)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Система торговли квотами ЕС (EU ETS);</li> <li>▪ Система торговли квотами Австралии</li> <li>▪ Система торговли квотами Новой Зеландии</li> </ul> <p><b>Предложение:</b> углеродная квота – разрешение на выброс 1 т CO<sub>2</sub>-экв.</p> <p>ETS подразумевает <b>первичную продажу (выдачу)</b> разрешений на выбросы парниковых газов (квот) организациям, подпадающим под углеродное регулирование, с возможностью <b>вторичной продажи</b> неиспользованных квот участникам, которые превысили разрешенное количество квот и не хотят платить штраф</p>	<p><b>Спрос:</b> выполнение добровольных целей по сокращению выбросов парниковых газов или углеродного следа</p> <p><b>Добровольная торговля углеродными единицами, полученными в результате реализации климатического проекта</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Двусторонняя торговля;</li> <li>▪ Ритейлеры;</li> <li>▪ Брокеры;</li> <li>▪ Биржи;</li> <li>▪ Другие торговые площадки.</li> </ul> <p><b>Предложение:</b> углеродные единицы от климатических проектов (кредиты) – подтверждение сокращения 1 т CO<sub>2</sub>-экв.</p>
<p><b>2. Регулируемый рынок углеродных единиц, позволяющий приобретать углеродные кредиты</b></p> <p><b>Региональные и национальные обязательства:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ETS+ углеродные кредиты**</li> </ul> <p>Пример: ETS Китая, Казахстана, Кореи</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Углеродный налог+ Угл. кредиты**</li> </ul> <p>Пример: Южная Африка</p> <p><b>Международные обязательства (только углеродные кредиты)**</b></p> <p>Пример: Парижское соглашение, CORSIA*</p> <p><b>Предложение:</b> углеродные единицы от климатических проектов (кредиты) – подтверждение сокращения 1 т CO<sub>2</sub>-экв.</p>	<p>Существует <b>три типа механизмов</b> выпуска углеродных кредитов</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Международные</b></li> </ul> <p>Механизм чистого развития Киотского протокола, механизм статьи 6.2 и 6.4 Парижского соглашения</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Независимые</b></li> </ul> <p>Выпуск углеродных единиц по стандартам Verified Carbon Standard (Verra), Gold Standard, Plan Vivo, American Carbon Registry</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Национальные/региональные механизмы углеродного кредитования</b></li> </ul> <p>Национальная система углеродных офсетов, Программа сокращения выбросов ПГ Китая</p>

\*CORSIA – Схема компенсации и сокращения выбросов углерода ИКАО ООН для международной авиации  
 \*\*Необходимо уточнять, углеродные единицы, выпущенные какими механизмами, разрешены к приобретению

Рис. 2 Структура углеродного рынка  
 Fig. 2 Structure of the carbon market

**Источник:** составлено авторами по данным Международного партнерства по деятельности в области углеродного регулирования (International Carbon Action Partnership (ICAP) и Всемирного банка (World Bank))

Основные проблемы функционирования регулируемого и добровольного углеродных рынков схожи: высокая фрагментация, усиливающаяся низкими прозрачностью, стандартизацией и надежностью данных о сокращении эмиссии ПГ. В сложившихся условиях фрагментации мировой экономики и санкционных войн наметилась тенденция к регионализации углеродных рынков в рамках интеграционных объединений, таких как ЕАЭС (Евразийской экономической союз), БРИКС (Бразилия, Россия, Индия, Китай, ЮАР) и др. На 28-й Конференции Сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата в г. Дубай (ОАЭ) в декабре 2023 г. было объявлено о создании стандарта БРИКС для сертификации климатических проектов.<sup>8</sup>

Фрагментацию углеродных рынков призвано устранить внедрение цифровых технологий, что в конечном счете позволит расширить потоки финансирования на климатические инициативы. Внедрение цифровых технологий может оказать двойное влияние на углеродные рынки. Объективно цифровизация могла бы способствовать постепенному преодолению фрагментации рынков, стимулируя процессы их глобализации. Вместе с тем фактически она становится одним из драйверов «инновационной гонки» между региональными углеродными рынками и, соответственно, может привести к их дальнейшему обособлению.

Для анализа влияния цифровых технологий на углеродный рынок используем его классификацию с точки зрения предложения углеродных единиц: рынок углеродных квот, которые выдаются государственными органами, и рынок углеродных кредитов, образующихся в результате реализации климатических проектов и торгуемых на регулируемом и добровольном рынке.



Таблица 1

**Роль различных цифровых технологий в развитии углеродного рынка**

Технология	Применение	Преимущества	Недостатки
1. Распределенные реестры (DLT) (блокчейн)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- распределение и учет квот на выбросы;</li> <li>- использование смарт-контрактов для цифровизации методологий;</li> <li>- базы данных для мониторинга, отчетности и верификации</li> <li>- реестры углеродных единиц;</li> <li>- торговля углеродными единицами (единицами выполнения квоты и кредитами) до конечного потребителя, в т.ч. токенизация</li> <li>- мониторинг сокращения выбросов.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- сокращение временных и денежных затрат, а также транзакционных издержек;</li> <li>- обеспечение прозрачности, стандартизации и надежности данных и операций;</li> <li>- избежание двойного учета углеродных единиц;</li> <li>- снижение фрагментации углеродного рынка.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- мошеничество;</li> <li>- воровство личных данных участников рынка;</li> <li>- плагиат;</li> <li>- неутонченный правовой статус технологии блокчейн;</li> <li>- увеличение выбросов ПП.</li> </ul>
2. Интернет вещей (IoT)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- получение стандартизированных и надежных данных</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- сложность создания централизованной системы из-за высокой фрагментации углеродного рынка</li> <li>- дорогостоящее оборудование</li> <li>- риск высоких</li> </ul>
3. Большие данные и их анализ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- составление документации и отчетности;</li> <li>- составление рейтингов;</li> <li>- построение прогнозов;</li> <li>- распределение и учет квот на выбросы;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- защита от потери данных;</li> <li>- минимизация денежных и временных затрат, а также транзакционных издержек на хранение, обработку и анализ больших объемов данных;</li> <li>- эффективное распределение углеродных квот.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- сопутствующих затрат из-за сбора ненужных данных;</li> <li>- увеличение выбросов ПП.</li> </ul>
4. Искусственный интеллект (AI)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- мониторинг сокращения выбросов;</li> <li>- составление документации и отчетности;</li> <li>- верификация сокращения выбросов;</li> <li>- составление рейтингов;</li> <li>- построение прогнозов;</li> <li>- распределение и учет квот на выбросы;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- получение стандартизированных и надежных данных;</li> <li>- снижение издержек на оплату услуг специалистов;</li> <li>- снижение временных затрат и транзакционных издержек;</li> <li>- эффективное распределение углеродных квот.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- неполнота результата работы ИИ;</li> <li>- необходимость правового регулирования.</li> </ul>

**Источник:** составлено автором на основе Sirthorge A., Brink S., Leeuwen T.V., Staffell I. (2022) Blockchain solutions for carbon markets are nearing maturity and материалов Всемирного банка, Европейской комиссии и Глобальной инициативы в области агротехнологий.

Главными цифровыми технологиями, которые уже внедряются и впоследствии, вероятно, получат более широкое распространение на этом рынке, являются: технология распределенных реестров, (distributed ledger technology, DLT), наиболее популярной формой которой является технология блокчейн; Интернет вещей (Internet of things, IoT); большие данные; искусственный интеллект (ИИ). Таблица 1 демонстрирует роль указанных цифровых технологий в развитии углеродного рынка.

Использование технологии блокчейн на углеродном рынке заключается в выстраивании по определенным правилам непрерывной последовательной цепочки блоков, содержащих информацию об объектах рынка, а именно об углеродных квотах и кредитах.

Внедрение технологии блокчейн в системах торговли квотами рассматривается в незначительном числе исследований, единым выводом которых является то, что технология блокчейн может снизить временные затраты и обеспечить прозрачность транзакций в рамках аукциона квот и вторичной торговли единицами выполнения квоты.<sup>9</sup>

На рынке углеродных кредитов технология блокчейн имеет более широкое применение. В начале 2020-х гг. DLT-технология стала основой для создания цифровой экосистемы для углеродных рынков программы «Climate Warehouse» Всемирного банка (ВБ), способствующей повышению прозрачности, доверия и честности на рынках углеродных кредитов (см. рисунок 3). Программа помогает странам использовать углеродные рынки для увеличения финансовых ресурсов, направляемых на выполнение NDCs, и для повышения глобальных климатических амбиций через внедрение Статьи 6 Парижского соглашения, а также для объединения регулируемого и добровольного сегментов рынка в процессе его глобализации. Всемирный банк работает над запуском пяти цифровых продуктов, интегрированных в цифровую экосистему, основанную на блокчейн: 1) платформа метаданных агрегирования информации из различных реестров углеродных единиц Climate Action Data Trust (CADT); 2) национальные углеродные реестры; 3) цифровые системы мониторинга, отчетности и верификации; 4) инструменты токенизации. Ожидается, что данные продукты пройдут пилотные фазы реализации к 2030 г., и при условии их успешности и эффективности будут внедрены.

Дополнительно для цифровизации методологий климатических проектов ВБ рассматривает, но пока не разрабатывает применение смарт-контрактов, основанных на технологии блокчейн. Смарт-контракт может быть определен как договор между двумя и более сторонами об установлении, изменении или прекращении юридических прав и обязанностей, в котором часть или все условия записываются, исполняются и/или обеспечиваются компьютерным алгоритмом автоматически в специализированной программной среде<sup>10</sup>. После подписания сторонами



контракт проходит проверку на выполнение условий методологии климатического проекта и сохраняется в блокчейне, после чего вступает в силу. Смарт-контракт поможет избежать необходимости валидации проектной документации для регистрации проекта в реестре углеродных единиц, таким образом снизив временные и денежные затраты, а также транзакционные издержки.

Отдельное внимание ВБ уделяет механизмам токенизации цифровых климатических активов. Токен создан на основе блокчейна и представляет собой цифровой сертификат на право собственности на один углеродный офсет на добровольном рынке, который подтверждает предотвращение выброса 1 т углерода. Более широкое внедрение технологий блокчейн для торговли на добровольном углеродном рынке приведет к развитию новых рыночных площадок для торговли офсетам, открытию возможностей для финансирования новых проектов по поглощению углерода и созданию платформ, предоставляющих токенизацию в качестве услуги разработчикам проектов и реестрам. В настоящее время ВБ разрабатывает концепцию рыночных механизмов, позволяющих осуществлять токенизацию углеродных офсетов, и планирует провести пилотное тестирование этих прототипов с участниками углеродного рынка.

С экологической точки зрения стоит рассматривать продажу токенов отдельно от майнинга криптовалюты. Основное различие между токенами и криптовалютами заключается в том, что монеты имеют собственный блокчейн, в то время как токены построены на существующих блокчейнах. Майнинг криптовалюты не является экологичным, так как во время добычи криптовалюты в мире расходуется 97,9 тераватта/час электроэнергии в год, что больше, чем потребляют в год Филиппины (93,3 тераватта/час) или Казахстан (91,7 тераватта/час).<sup>11</sup> Более 40% выбросов CO<sub>2</sub>, связанных с электроэнергией, приходится на сжигание ископаемого топлива.<sup>12</sup> В среднем по миру в 2022 г. при выработке 1 кВт\*ч эмитировалось 436 г CO<sub>2</sub>-экв.<sup>13</sup> Продажа токенов также оценивается специалистами как «неэкологичная»: одна транзакция в системе Ethereum, которая сегодня чаще всего используется для сделок с Невзаимозаменяемыми токенами (NFT), потребляет в среднем 35 кВт – столько, сколько средний житель Евросоюза тратит за четыре дня.<sup>14</sup>

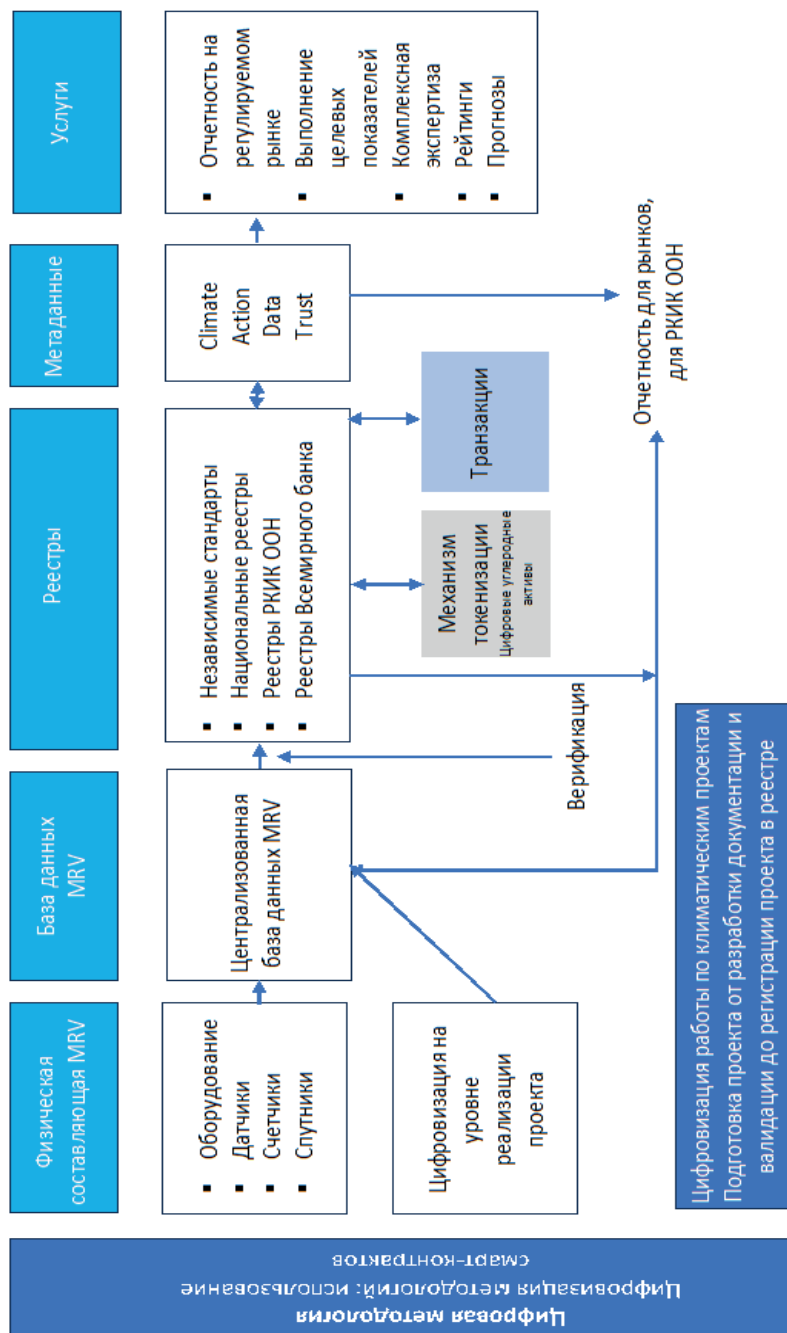


Рис. 3. Комплексная цифровая экосистема для углеродных рынков Всемирного банка  
 Fig. 3. A comprehensive digital ecosystem for the World Bank's carbon markets  
 Источник: The Climate Warehouse. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.theclimatewarehouse.org/work/climate-warehouse> (дата обращения: 14.11.2023).





В мировой практике уже создан ряд токенов, но при этом широкого распространения они еще не получили из-за низкого доверия покупателей к цифровым активам. К недавно созданным токенам относится Universal Carbon (UPCO2).<sup>15</sup> Коалиция компаний в сфере блокчейна Universal Protocol Alliance во главе с британской биржей для торговли криптовалютами, валютами, драгоценными металлами и акциями Urhold внедрила токен на базе стандарта Ethereum ERC-20, который поддерживается цифровым сертификатом, выданным независимым механизмом углеродного кредитования Verra. Стоимость данного токена составила 7,58 долл. на сентябрь 2023 г.<sup>16</sup>

В России также иницируются проекты цифровизации торговли углеродными единицами. Проект Центра экологических инноваций ВШЭ предусматривает выпуск токенов CO2T, покупка которых помогает высадке и охране лесов на Алтае. Существование Алтайского лесного проекта на сегодняшний день предотвратило выбросы 4,7 млн т CO<sub>2</sub>, что примерно равняется году использования 101,3 тыс. легковых автомобилей.<sup>17</sup>

Еще одним российским примером является продажа компанией СИБУР токенов компании QIWI через Зеленую цифровую платформу<sup>18</sup>, созданную в 2023 г. Данные токены были приобретены в результате реализации климатического проекта на комбинате «Запсибнефтехим» в соответствии с методикой ISO 14064-2:2019 и получения 3 млн т CO<sub>2</sub>-экв. сокращений выбросов, верифицированных европейским органом по валидации и верификации Verico SCE.<sup>19</sup>

По состоянию на 2024 г. токенизация торговли углеродными единицами не получила широкого распространения, хотя существует ряд платформ для продажи цифровых климатических активов, которые работают на основе блокчейн, например, «Climate Trade». Пока большинство покупателей углеродных единиц предпочитают приобретать их на двусторонней основе или через брокеров, а не на цифровых платформах из-за низкой надежности в сокращении выбросов и прозрачности данных.

К преимуществам применения технологии блокчейн на углеродном рынке относятся: сокращение временных и денежных затрат, а также транзакционных издержек, обеспечение прозрачности, стандартизации и надежности данных и операций, избежание двойного учета углеродных единиц и как следствие снижение фрагментации углеродного рынка. Среди негативных аспектов выделяют мошенничество, воровство личных данных участников рынка, плагиат, неуточненный правовой статус технологии блокчейн и, что самое неоднозначное – увеличение выбросов ПГ.

Другой технологией, которая может оказывать влияние на развитие углеродного рынка, является Интернет вещей (IoT). Данный термин относится к системе, объединяющей устройства в компьютерную сеть и позволяющей им собирать, анализировать, обрабатывать и передавать данные другим объектам через программное



обеспечение, приложения или технические устройства. В необходимости приобретения дорогостоящего оборудования заключается один из ключевых недостатков применения данной ЦТ.

Технология IoT способствует обеспечению надежности и масштабируемости полученных данных о сокращении выбросов ПГ в процессе мониторинга. Использование технологии IoT представляет собой сбор данных с датчиков и их передачу в облако для аналитики и последующей верификации.

Фрагментация углеродного рынка создает препятствия для создания единой системы сбора данных о сокращениях выбросов. На национальном уровне действуют системы, основанные на IoT: в марте 2024 г. российская компания SR CMS (входит в аэрокосмический холдинг SR Space, фокусируется на компетенциях климатического мониторинга) представила первую в стране платформу для мониторинга ПГ на основе данных дистанционного зондирования Земли.

Появляются предложения по созданию подобных систем на глобальном уровне: ВБ предлагает создать Централизованную базу данных MRV (см. рисунок 3), а компании FreeWave Technologies (ведущего поставщика решений в области Интернета вещей (IoT)) и Inmarsat (мировой лидер в области глобальной мобильной спутниковой связи) работают над созданием Global IoT.<sup>20</sup>

Технология IoT неразрывно связана с большими данными, которые представляют собой разнообразные данные, поступающие с высокой скоростью, а их объем постоянно растет. Технология больших данных позволяет защищать от потери данные и минимизировать денежные и временные затраты, а также транзакционные издержки на хранение, обработку и анализ больших объемов данных. Инструменты анализа больших данных применяются для составления документации и отчетности, рейтингов, построения прогнозов, а также обеспечивают наиболее эффективное распределение квот.

Использование любого подобного инструмента сопряжено с риском высоких сопутствующих затрат из-за сбора ненужных данных и может привести к росту выбросов ПГ, связанных с использованием электроэнергии. В 2030 г. энергопотребление центров обработки данных в ЕС может достигнуть 3,21% общего спроса на электроэнергию.<sup>21</sup> Для предотвращения проявления указанных негативных эффектов от использования технологии больших данных необходимо заранее планировать, какие данные будут использоваться, классифицировать эти данные на «горячие» (часто используемые) и «холодные» (редко используемые) и внедрять гибкое управление этими данными.<sup>22</sup>

Примером использования больших данных может стать Единая платформа обмена знаниями, созданная в рамках программы ВБ Climate Warehouse (см. рисунок 3) совместно с Партнерством по внедрению углеродного рынка для объединения всех информационных продуктов по каждому направлению работы программы, таких как отчеты, технические документы, блоги и аудиовизуальные материалы.



Большие данные неразрывно связаны с использованием ИИ: ИИ может использоваться как для сбора больших данных, так и для их анализа. ИИ представляет собой комплекс методик математики, биологии, психологии, кибернетики и других наук, с помощью которого создаются технологии для написания «интеллектуальных» программ и обучения компьютеров самостоятельному решению задач через моделирование человеческого разума.

В настоящее время использованию ИИ придают особое значение во всех странах, применяя его в различных областях. Примером использования ИИ для сбора больших данных является представленная на COP28 в Дубай, ОАЭ в начале декабря 2023 г. доработанная база данных Climate Trace, которая с помощью спутников и ИИ «с беспрецедентной детализацией отражает почти все основные источники эмиссии ПГ в мире»; число источников на 2022 г. составляет 452 тыс.<sup>23</sup>

Существует множество различных инициатив по применению ИИ в торговле углеродными единицами, которые по состоянию на февраль 2024 г. реализуются локально или находятся на пилотной фазе или фазе проектирования. Использование ИИ во всех сегментах углеродного рынка может обеспечить получение более надежных и стандартизированных данных, снизить издержки на оплату услуг заменяемых ИИ специалистов, временных затрат и транзакционных издержек, а также способствовать более эффективному распределению углеродных квот на регулируемом рынке. Существенными недостатками технологии ИИ является необходимость его правового регулирования, неполнота полученного результата работы из-за высокой фрагментации углеродных рынков и влияния множества косвенных факторов, которые ИИ может не учесть при прогнозировании. В этой связи при обработке полученных ИИ данных необходимо участие человека.

Попытки разработки подходов к управлению ИИ были предприняты в рамках ООН, где в марте 2024 г. Генассамблея ООН приняла резолюцию «Использование возможностей безопасных, защищенных и надежных систем искусственного интеллекта для устойчивого развития». Вместе с тем этот вопрос находится на начальной стадии разработки.

Согласно всем имеющимся прогнозам, цифровизация углеродного рынка будет ускоряться. Важным аспектом является комплексное внедрение всех четырех ЦТ, центральным элементом которых является технология блокчейн, способствующая уменьшению фрагментации углеродного рынка. Так, применение технологии Интернета вещей связано с работой блокчейн программ и платформ, большие данные формируются с помощью Интернета вещей, а сбор и анализ больших данных зачастую проводится с использованием ИИ.

Ключевые преимущества применения цифровых технологий на углеродном рынке, представленных в таблице 1, заключаются в обеспечении прозрачности, надежности и стандартизации данных, способствующих уменьшению фрагментации рынка, в снижении денежных и временных затрат, а также транзакционных издержек в рамках функционирования углеродного рынка.

Наряду с преимуществами использование данных цифровых технологий вызывает ряд проблем: необходимость защиты данных от мошенничества, плагиата и воровства личных данных; несформированная нормативно-правовая база в отношении применения ЦТ; вероятность роста выбросов ПГ; необходимость участия человека для контроля за применением ЦТ. Одним из главных направлений решения этих проблем является совершенствование нормативно-правовых мер, регулирующих применение цифровых технологий на углеродных рынках.

### ВЫВОДЫ

Углеродный рынок в мире ежегодно растет высокими темпами. Его дальнейшее развитие, способствующее расширению потоков финансирования для решения проблемы глобального потепления, ограничивается фрагментацией рынка, усиливающейся низкой надежностью в сокращении выбросов парниковых газов, слабой прозрачностью и отсутствием стандартизации данных. Одним из перспективных способов их решения является использование цифровых технологий.

Комплексное внедрение цифровых технологий – блокчейн, Интернета вещей, больших данных и искусственного интеллекта в процессы функционирования углеродных рынков может способствовать обеспечению прозрачности, надежности и стандартизации данных, способствующих уменьшению фрагментации рынка, снижению денежных и временных затрат, а также транзакционных издержек.

Наряду с преимуществами внедрения этих технологий, определяется ряд недостатков, а именно: необходимость защиты данных от мошенничества, плагиата и воровства личных данных; несформированная нормативно-правовая база в отношении применения цифровых технологий; возможное увеличение выбросов ПГ; необходимость участия человека для контроля над применением цифровых технологий. Данные недостатки могут быть преодолены в первую очередь через разработку нормативно-правовых мер, регулирующих применение цифровых технологий на углеродном рынке.

По состоянию на март 2024 г. все существующие инициативы по цифровизации углеродного рынка имели локальный или пилотный характер. В обозримом будущем сложившаяся тенденция к цифровизации углеродного рынка, вероятно, будет иметь разнонаправленное действие: с одной стороны, она может способствовать ускорению технологической гонки между углеродными рынками различных групп стран, с другой – стимулировать преодоление глобальной фрагментации через объединение региональных углеродных рынков. Преодоление разрозненности углеродных рынков разных групп стран вряд ли представляется возможным в условиях беспрецедентной санкционной войны и продолжающейся фрагментации мирового хозяйства. Вместе с тем именно это направление является наиболее перспективным с точки зрения решения климатической проблемы в случае ослабления геополитической напряженности. С учетом текущей геополитической



обстановки в обозримой перспективе наиболее вероятным представляется цифровизация углеродного рынка в рамках таких региональных интеграционных объединений, как ЕАЭС, БРИКС, АСЕАН и др.

### ПРИМЕЧАНИЯ:

<sup>1</sup> WMO confirms that 2023 smashes global temperature record [Электронный ресурс]. URL: <https://wmo.int/media/news/wmo-confirms-2023-smashes-global-temperature-record#:~:text=Six%20leading%20international%20datasets%20used,December%20set%20new%20monthly%20records> (дата обращения: 16.01.2024).

<sup>2</sup> Новые тренды в экономической глобализации /См. подробнее Под ред. А.С. Булатова, Н.В. Галищевой, М.А. Максаковой. — Москва: Аспект пресс, 2023. — 505 с.

<sup>3</sup> Bold Measures to Close the Climate Action Gap. WEF, 2024. [Электронный ресурс]. URL: [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Bold\\_Measures\\_to\\_Close\\_the\\_Climate\\_Action\\_Gap\\_2024.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Bold_Measures_to_Close_the_Climate_Action_Gap_2024.pdf) (дата обращения: 29.03.2024).

<sup>4</sup> World Bank Carbon Pricing Dashboard. [Электронный ресурс]. URL: <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org> (дата обращения: 11.03.2024)

<sup>5</sup> Реестр углеродных единиц // Частые вопросы. [Электронный ресурс]. URL: <https://carbonreg.ru/ru/> (дата обращения: 05.12.2023)

<sup>6</sup> World Bank Group // State and trends of Carbon Pricing 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/58f2a409-9bb7-4ee6-899d-be47835c838f> (дата обращения: 21.11.2023)

<sup>7</sup> Climate Trade // Top 10 Predictions for Climate and Carbon Markets in 2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://climatetrade.com/top-10-predictions-for-climate-and-carbon-markets-in-2024/> (дата обращения: 17.03.2024)

<sup>8</sup> ТАСС // РФПИ выступил за создание стандарта БРИКС сертификации карбоновых проектов, 5 декабря 2023 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/ekonomika/19455441> (дата обращения: 06.12.2023)

<sup>9</sup> Wang, YR., Ma, C., Ren, YS. et al. Cooperative management of an emission trading system: a private governance and learned auction for a blockchain approach. *Financ Innov* 9, 122 (2023). <https://doi.org/10.1186/s40854-023-00547-6>

<sup>10</sup> Аналитический обзор Банка России по теме «Смарт-контракты». [Электронный ресурс]. URL: [https://cbr.ru/Content/Document/File/47862/SmartKontrakt\\_18-10.pdf](https://cbr.ru/Content/Document/File/47862/SmartKontrakt_18-10.pdf) (дата обращения: 10.11.2023)

<sup>11</sup> Forbes // Больше энергии, чем целые страны: действительно ли добыча биткойна вредит экологии. 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.forbes.ru/tehnologii/432029-bolshe-energii-chem-celye-strany-deystvitelno-li-dobycha-bitkoina-vredit-ekologii> (дата обращения: 14.11.2023)

<sup>12</sup> World Nuclear Association // Carbon Dioxide Emissions From Electricity. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/carbon-dioxide-emissions-from-electricity.aspx> (дата обращения: 08.11.2023)

<sup>13</sup> Our World in Data // Carbon Intensity of electricity, 2000 to 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://ourworldindata.org/grapher/carbon-intensity-electricity?tab=table> (дата обращения: 08.11.2023)

<sup>14</sup> РБК // Неэкологичные, небезопасные и бессмысленные: кто и за что ненавидит NFT. [Электронный ресурс]. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/61f7bf199a794777938c4cdb> (дата обращения: 24.03.2024)

<sup>15</sup> Universal Carbon (UPCO2). [Электронный ресурс]. URL: <https://universalcarbon.com/> (дата обращения: 09.11.2023)

<sup>16</sup> Buy Universal Carbon (UPCO2). [Электронный ресурс]. URL: <https://uphold.com/assets/environmental/buy-upco2> (дата обращения: 09.11.2023)

<sup>17</sup> CO2 Т. Алтайский Лесной Проект. [Электронный ресурс]. URL: <https://co2les.ru/> (дата обращения: 10.11.2023)

<sup>18</sup> Green Digital Platform. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.greendigitalplatform.com/listing> (дата обращения: 14.11.2023)

<sup>19</sup> Ведомости // Сибур запустил блокчейн в экологию. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vedomosti.ru/esg/climate/articles/2023/08/21/991177-sibur-zapustil-blokchein-v-ekologiyu> (дата обращения: 14.11.2023)

<sup>20</sup> Global AG Tech Initiative // IoT and the Carbon Market: How Data Can Help Drive Decarbonization. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.globalagtechinitiative.com/in-field-technologies/sensors/iot-and-the-carbon-market-how-data-can-help-drive-decarbonization/> (дата обращения: 14.11.2023)

<sup>21</sup> European Commission // Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/energy-efficient-cloud-computing-technologies-and-policies-eco-friendly-cloud-market> (дата обращения: 22.11.2023)

<sup>22</sup> Strategy & Part of the PwC network // Considering the carbon impact of Big Data. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.strategyand.pwc.com/de/en/industries/telecommunication-media-and-technology/considering-carbon-impact-big-data.html> (дата обращения: 28.11.2023)

### БИБЛИОГРАФИЯ:

1. Новые тренды в экономической глобализации / Под ред. А.С. Булатова, Н.В. Галищевой, М.А. Максаковой. - М.: Аспект пресс, 2023. - 505 с. @@ Novy`e trendy` v e`konomicheskoy globalizacii / Pod red. A.S. Bulatova, N.V. Galishhevoj, M.A. Maksakovej. - М.: Aspekt press, 2023. - 505 s.
2. Аналитический обзор Банка России по теме «Смарт-контракты» @@ Analiticheskij obzor Banka Rossii po teme «Smart-kontrakty`». URL: [https://cbr.ru/Content/Document/File/47862/SmartKontrakt\\_18-10.pdf](https://cbr.ru/Content/Document/File/47862/SmartKontrakt_18-10.pdf) (дата обращения: 10.11.2023)
3. Ведомости // Сибур запустил блокчейн в экологию. 2023. @@ Vedomosti // Sibur zapustil blokchein v e`kologiyu. 2023. URL: <https://www.vedomosti.ru/esg/climate/articles/2023/08/21/991177-sibur-zapustil-blokchein-v-ekologiyu> (дата обращения: 14.11.2023)



4. ТАСС // РФПИ выступил за создание стандарта БРИКС сертификации карбоновых проектов, 5 декабря 2023 г.) @@ TASS // RFPI vy`stupil za sozdanie standarta BRIKS sertifikacii karbonovy`x proektov, 5 dekabrya 2023 g.). URL: <https://tass.ru/ekonomika/19455441> (дата обращения: 06.12.2023)
5. РБК // Неэкологичные, небезопасные и бессмысленные: кто и за что ненавидит NFT @@ RBK // Nee`kologichny`e, nebezopasny`e i bessmy`slenny`e: kto i za chto nenavidit NFT. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/61f7bf199a794777938c4cdb> (дата обращения: 24.03.2024)
6. Forbes // Больше энергии, чем целые страны: действительно ли добыча биткоина вредит экологии. 2021. @@ Forbes // Bol`she e`nergii, chem cely`e strany`: dejstvitel`no li doby`cha bitkoina vredit e`kologii. 2021. URL: <https://www.forbes.ru/tehnologii/432029-bolshe-energii-chem-celye-strany-deystvitelno-li-dobycha-bitkoina-vredit-ekologii> (дата обращения: 14.11.2023)
7. CO2 Т. Алтайский Лесной Проект. @@ CO2 Т. Altajskij Lesnoj Proekt. URL: <https://co2les.ru/> (дата обращения: 10.11.2023)
8. Siphthorpe A., Brink S., Leeuwen T.V., Staffell I. (2022) Blockchain solutions for carbon markets are nearing maturity. One Earth Volume 5 Issue 7, 779-791. URL: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.06.004>
9. Wang, YR., Ma, C., Ren, YS. et al. Cooperative management of an emission trading system: a private governance and learned auction for a blockchain approach. Finance Innov 9, 122 (2023). URL: <https://doi.org/10.1186/s40854-023-00547-6>
10. Our World in Data // Carbon Intensity of electricity, 2000 to 2022. URL: <https://ourworld-indata.org/grapher/carbon-intensity-electricity?tab=table> (дата обращения: 08.11.2023)
11. World Nuclear Association // Carbon Dioxide Emissions From Electricity. 2022. URL: <https://world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/carbon-dioxide-emissions-from-electricity.aspx> (дата обращения: 08.11.2023)
12. Climate Trade // Top 10 Predictions for Climate and Carbon Markets in 2024. URL: <https://climatetrade.com/top-10-predictions-for-climate-and-carbon-markets-in-2024/> (дата обращения: 17.03.2024)
13. European Commission // Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market. 2020. URL: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/energy-efficient-cloud-computing-technologies-and-policies-eco-friendly-cloud-market> (дата обращения: 22.11.2023)
14. Global AG Tech Initiative // IoT and the Carbon Market: How Data Can Help Drive Decarbonization. 2023. URL: <https://www.globalagtechinitiative.com/in-field-technologies/sensors/iot-and-the-carbon-market-how-data-can-help-drive-decarbonization/> (дата обращения: 14.11.2023)
15. Buy Universal Carbon (UPCO2). URL: <https://uphold.com/assets/environmental/buy-upco2> (дата обращения: 09.11.2023)
16. Bold Measures to Close the Climate Action Gap. WEF, 2024. URL: [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Bold\\_Measures\\_to\\_Close\\_the\\_Climate\\_Action\\_Gap\\_2024.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Bold_Measures_to_Close_the_Climate_Action_Gap_2024.pdf) (дата обращения: 29.03.2024)
17. Climate Action Data Trust. URL: <https://climateactiondata.org> (дата обращения: 22.11.2023)



18. Green Digital Platform. URL: <https://www.greendigitalplatform.com/listing> (дата обращения: 14.11.2023)
19. ICAP ETS Map. URL: <https://icapcarbonaction.com/en/ets> (дата обращения: 21.11.2023)
20. Moss Token. URL: <https://mco2token.moss.earth/> (дата обращения: 10.11.2023)
21. Strategy & Part of the PwC network // Considering the carbon impact of Big Data. 2022. URL: <https://www.strategyand.pwc.com/de/en/industries/telecommunication-media-and-technology/considering-carbon-impact-big-data.html>
22. The Climate Warehouse. URL: <https://www.theclimatewarehouse.org/work/climate-warehouse> (дата обращения: 14.11.2023)
23. Universal Carbon (UPCO2). URL: <https://universalcarbon.com/> (дата обращения: 09.11.2023)
24. World Bank Carbon Pricing Dashboard. URL: <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org> (дата обращения: 19.11.2023)

