

DOI: 10.58168/TBiEc2025_19-23

УДК 338.24

БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИИ И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ СЛЕД: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES AND THEIR ECOLOGICAL FOOTPRINT: PROBLEMS AND SOLUTIONS

Безрукова Т.Л., д.э.н., профессор ФГБОУ **Bezrukova T.L.**, doctor of Economics, Professor, ВО «Воронежский государственный Voronezh State University of Forestry and лесотехнический университет им. Г.Ф. Technologies named after G.F. Morozov, Морозова», Воронеж, Россия. Voronezh, Russia.

Сааков В.А., магистрант, студент ордена **Saakov V.A.**, master's student, student of the Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО Order of the Red Banner of Labor, Moscow «Московский технический университет связи Technical University of Communications and информатики», Москва, Россия. Informatics, Moscow, Russia.

Аннотация: статья посвящена анализу экологического воздействия блокчейн-технологий, в частности, криптовалютного майнинга. Авторами рассмотрены высокое энергопотребление, углеродный след и проблема электронных отходов, связанных с этой индустрией. Предлагаются решения для снижения негативного влияния, включая переход на возобновляемые источники энергии, внедрение энергоэффективных технологий и государственное регулирование. Особое внимание уделяется концепции «зеленого» майнинга и примерам её реализации. Исследование подчеркивает необходимость баланса между технологическим прогрессом и экологической устойчивостью.

Abstract: the article is devoted to the analysis of the environmental impact of blockchain technologies, in particular, cryptocurrency mining. The authors consider the high energy consumption, carbon footprint and the problem of electronic waste associated with this industry. Solutions are proposed to reduce the negative impact, including the transition to renewable energy sources, the introduction of energy-efficient technologies and government regulation. Special attention is paid to the concept of "green" mining and examples of its implementation. The study highlights the need for a balance between technological progress and environmental sustainability.

Ключевые слова: блокчейн-технологии, криптовалюта, биткоин, углеродный след, эффективное энергопотребление, экологический ущерб.

Keywords: blockchain technologies, cryptocurrency, bitcoin, carbon footprint, efficient energy consumption, environmental damage.

На сегодняшний день блокчейн признан одним из ключевых технологических прорывов в глобальном масштабе. Его истоки связаны с зарубежными разработками, где технология впервые была применена для создания цифровой валюты — биткойна. Сейчас

активное развитие блокчейна наблюдается и в России, где его внедрение происходит динамично.

Появление блокчейна ознаменовало начало новой эры в сфере обработки и хранения данных. Уникальные свойства этой технологии — децентрализация, прозрачность и неизменяемость — открывают широкие перспективы для трансформации не только финансового сектора, но и таких областей, как государственное управление, здравоохранение, логистика, образование и корпоративный бизнес [1].

В рамках реализации национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» Правительством РФ инициирована комплексная реформа государственного управления с акцентом на цифровую трансформацию. Программа предусматривает активное внедрение блокчейн-технологий в различных секторах, включая банковские операции (размещение акций МСП, обслуживание крупных залоговых кредитов), работу с пенсионными и социальными фондами, цифровой документооборот, а также ипотечное кредитование [7].

Особую актуальность блокчейн приобретает в контексте защиты от мошенничества, а также в сферах, требующих работы с большими массивами данных. Однако, несмотря на значительные преимущества, данная технология не лишена и определенных недостатков, которые необходимо учитывать при ее применении. Исследователи Центра энергетических рынков при Мюнхенском университете и Центре исследований экологической политики Массачусетского технологического института утверждают, что реализация блокчейн-технологии, базирующейся на децентрализованной архитектуре и распределенном хранении данных, сопряжена с необходимостью использования масштабных вычислительных ресурсов, что закономерно приводит к существенным затратам электроэнергии [4]. Значительное энергопотребление, преимущественно обеспечиваемое за счет невозобновляемых источников, привело к повышенному вниманию к экологическим последствиям блокчейн-операций, также вопросы энергоэффективности процессов майнинга и обработки транзакций стали предметом активных дискуссий в профессиональном сообществе.

Криптовалюта является успешным масштабным проектом с использованием блокчейн-технологий во главе с основоположником множества видов криптовалют — биткоином. Несмотря на то, что биткоин на сегодняшний день активно используется в ряде стран, исследования экспертов показывают, что годовое потребление энергии «майнингом» (путем создания криптовалюты путем проведения сложных вычислений) биткоина превышает годовое потребление некоторых стран (Нидерланды или Объединенные Арабские Эмираты) около 130 ТВт*ч [3].

Воздействие криптовалют на окружающую среду не ограничивается масштабным потреблением электроэнергии. Анализ показывает, что осуществление майнинговых операций, преимущественно обеспечиваемых ископаемыми энергоносителями, существенно увеличивает выбросы парниковых газов, усиливая антропогенное воздействие на

климатическую систему. Углеродный след биткоин оценивается примерно в 69 млн. метрических тонн CO₂, что выше уровня выбросов в Иордании или Шри-Ланке [3].

Следует подчеркнуть, что экологическое воздействие блокчейн-технологий не сводится исключительно к процессу криптовалютного майнинга. Поддерживающие инфраструктуру распределенных реестров узлы также демонстрируют существенную ресурсоемкость, потребляя значительные объемы электроэнергии для обеспечения вычислительных процессов. Эксплуатация такого оборудования требует строгого соблюдения температурного режима, что обуславливает необходимость использования систем охлаждения - кондиционеров или принудительной вентиляции. Эти вспомогательные системы сами по себе являются значительными потребителями электроэнергии [5].

Дополнительную экологическую нагрузку создает проблема утилизации специализированного майнингового оборудования, приводящая к накоплению электронных отходов и нерациональному использованию природных ресурсов. В результате модернизации старых майнинговых ферм или их утилизации образуется большое количество электронных отходов, которые в свою очередь обладают высоким уровнем опасности для человеческого здоровья и окружающей среды, т.к. содержат токсичные вещества (свинец, ртуть и др.) [2].

Стремление к более экологичным альтернативам набирает обороты, побуждая отрасль изучать более экологичные блокчейн-технологии. Оптимизация энергопотребления в блокчейн-системах должна основываться на системном подходе, предусматривающем применение совокупности взаимодополняющих методов.

Самым очевидным решением снижения негативного воздействия блокчейн-индустрии на экологию является переход на возобновляемые источники энергии - солнечные, ветровые и гидроэлектростанции. Это позволяет значительно сократить углеродный след блокчейн-сетей. Передовые майнинговые предприятия в Исландии, Норвегии и других регионах с развитой возобновляемой энергетикой успешно перешли на экологически чистые источники питания: геотермальные источники вулканической активности, гидроэлектростанции [7]. Такой тренд получает глобальное распространение - новые фермы в Канаде, США и Азии все чаще выбирают локации с избытком ВИЭ, формируя новую парадигму экологически ответственной криптоиндустрии.

Минимизация экологического ущерба также возможна путем сокращения ресурсов на поддержание работы майнинговых ферм. Так реализации подводных майнинговых ферм позволит снизить электропотребление за счет отказа от традиционных систем охлаждения и использования естественного охлаждения глубинных вод. Утилизация избыточного тепла, образующегося в процессе майнинговых операций, путем направления его на обогрев помещений, тепличных хозяйств и аквакультур позволит повысить общую энергоэффективность.

Современные блокчейн-проекты активно развивают концепцию "зеленого" майнинга, предлагая энергоэффективные альтернативы традиционным криптовалютам. Такие платформы, как Chia, SolarCoin и Power Ledger уже реализуют принципы устойчивого

развития через: интеграцию возобновляемых источников энергии, внедрение экологических протоколов верификации, оптимизацию ресурсопотребления [6]. Рост экологической сознательности потребителей и ужесточение регуляторных требований формируют устойчивый спрос на "зеленые" крипторешения. Проекты, сочетающие доказанную экологическую эффективность, экономическую целесообразность, масштабируемость технологий имеют наибольшие шансы стать новым отраслевым стандартом, способствуя формированию углеродно-нейтральной блокчейн-экосистемы.

Государственное регулирование также способно повысить уровень экологической ответственности блокчейн-индустрии. Регуляторные инициативы такие как: установление экологических стандартов для криптоиндустрии, введение налоговых льгот для майнинговых проектов, установление углеродных квот для майнинговых операций, финансирование исследований в области «зеленых» криптовалютных проектов. Рост экологической сознательности потребителей и ужесточение регуляторных требований формируют устойчивый спрос на «зеленые» крипторешения.

Таким образом, современные блокчейн-технологии должны быть экологически ориентированы и представлять собой оптимальный подход к созданию устойчивых криптовалютных систем путем внедрения ресурсосберегающих решений, активного использования чистой энергетики и формирования благоприятной регуляторной среды. В этом случае отрасль способна минимизировать экологический ущерб и внести существенный вклад в реализацию международных инициатив по устойчивому развитию. Особое значение приобретает синергия между технологическими решениями, энергетической политикой и регуляторными мерами, что в совокупности способно трансформировать блокчейн-индустрию в образец устойчивого развития для других высокотехнологичных секторов экономики.

Экологически ориентированный подход к поддержанию и развитию блокчейн-индустрии позволит одновременно поддерживать технологический прогресс, обеспечивать экономическую эффективность и гарантировать экологическую безопасность. Обеспечение гармоничного сочетания инновационной деятельности и природой, является главным шагом к реализации парадигмы функционирования цифровой экономики, основанной на принципах устойчивости и экологического баланса.

Список литературы

1. Бабкин А.В., Буркальцева Д.Д., Пшеничников В.В., Тюлин А.С. Криптовалюта и блокчейн-технология в цифровой экономике: генезис развития // *π-Есопому*. – 2017. – № 5.
2. Греков К.Б. Электронные отходы: вызов XXI века // *Экологическая безопасность: проблемы и пути решения: сб. тезисов и докл. науч. конф. (Санкт-Петербург, 12-13 апреля 2018 г.)*. – СПб., 2018. – С. 26-27.

3. Big Bitcoin's carbon footprint // NBC News. – URL: <https://www.nbcnews.com/tech/tech-news/big-bitcoins-carbon-footprint-rcna920> (дата обращения: 18.04.2025).
4. Bitcoin's carbon footprint as big as small country's // Earth.com. – URL: <https://www.earth.com/news/bitcoin-carbon-footprint-small-country/> (дата обращения: 19.04.2025).
5. Blockchain's environmental impact: balancing innovation and sustainability // Neuron.expert. – URL: <https://neuron.expert/news/blockchains-environmental-impact-balancing-innovation-and-sustainability/12997/ru/> (дата обращения: 19.04.2025).
6. Sustainable Blockchain: A New Frontier for Eco-Friendly Cryptocurrencies // GeeksforGeeks. – URL: <https://www.geeksforgeeks.org/sustainable-blockchain-a-new-frontier-for-eco-friendly-cryptocurrencies-1/> (дата обращения: 20.04.2025).
7. Цифровая экономика Российской Федерации // Официальный сайт Правительства РФ. – URL: <http://government.ru/info/35568/> (дата обращения: 18.04.2025).

References

1. Babkin A.V., Burkaltseva D.D., Pshenichnikov V.V., Tyulin A.S. Cryptocurrency and Blockchain Technology in the Digital Economy: Genesis of Development // *π-Economy*. – 2017. – No. 5.
2. Grekov K.B. Electronic Waste: A Challenge for the 21st Century // *Environmental Safety: Problems and Solutions: Collection of Abstracts and Reports of the Scientific Conference*. (Saint Petersburg, April 12-13, 2018). – Saint Petersburg, 2018. – Pp. 26-27.
3. Big Bitcoin's carbon footprint // NBC News. – URL: <https://www.nbcnews.com/tech/tech-news/big-bitcoins-carbon-footprint-rcna920> (date of access: 04.18.2025).
4. Bitcoin's carbon footprint as big as small country's // Earth.com. – URL: <https://www.earth.com/news/bitcoin-carbon-footprint-small-country/> (date of access: 04.19.2025).
5. Blockchain's environmental impact: balancing innovation and sustainability // Neuron.expert. – URL: <https://neuron.expert/news/blockchains-environmental-impact-balancing-innovation-and-sustainability/12997/ru/> (date of access: 19.04.2025).
6. Sustainable Blockchain: A New Frontier for Eco-Friendly Cryptocurrencies // GeeksforGeeks. – URL: <https://www.geeksforgeeks.org/sustainable-blockchain-a-new-frontier-for-eco-friendly-cryptocurrencies-1/> (date of access: 20.04.2025).
7. Digital Economy of the Russian Federation // Official website of the Government of the Russian Federation. – URL: <http://government.ru/info/35568/> (date of access: 18.04.2025).