

УДК 65.011.8

Экологическая оценка криптовалюты для устойчивого развития цифровой экономики

Канд. экон. наук **Павлова А.С.** nastya.s.pavlova@gmail.com

Данилюк М.А. maria-a-d@yandex.ru

Канд. тех. наук **Сергиенко О.И.** oisergienko@yandex.ru

Павлов А.С. pavlov-anton77@yandex.ru

Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Стремительный рост криптовалюты на мировом рынке и реализация национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» обуславливают актуальность исследования экологических аспектов технологии блокчейн. В качестве методологии анализа экологических аспектов была выбрана оценка рисков с использованием матрицы вероятностей. Авторами были определены и ранжированы следующие экологические аспекты криптовалюты: использование редкоземельных металлов для производства оборудования, потребление энергии для майнинга и для охлаждения вычислительной техники, выделение тепла, выбросы в атмосферный воздух, а также образование электронных отходов. Одним из наиболее важных экологических аспектов является потребление энергии. В результате проведенного исследования, сделан вывод, что используя традиционные источники энергии в технологии блокчейн, цифровая экономика будет формироваться вразрез с интересами устойчивого развития и принципами низкоуглеродной экономики. В целях реализации национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», переход на возобновляемую энергетику позволит обеспечить прорыв в трансформации существующей экономической модели в цифровую без значительного ущерба окружающей среде.

Ключевые слова: устойчивое развитие, цифровая экономика, блокчейн технология, криптовалюта, экологический аспект, «зеленая» криптовалюта, альтернативная энергетика

DOI: 10.17586/2310-1172-2019-12-3-118-127

Environmental assessment of cryptocurrency for sustainable development of digital economy

Ph.D. Pavlova A.S. nastya.s.pavlova@gmail.com

Daniliuk M.A. maria-a-d@yandex.ru

Ph.D. Sergienko O.I. oisergienko@yandex.ru

Pavlov A.S. pavlov-anton77@yandex.ru

ITMO University

191002, Russia, St.Petersburg, Lomonosova str., 9

The rapid growth of cryptocurrency in the global market and national program of Russian Federation «Digital economy» drew attention to the environmental aspects of its production. This process is based on the use of significant computing power, which consumes a large amount of electricity. In most cases, traditional non-renewable energy sources are used, which leads to the depletion of natural resources. As methodology of environmental aspects analysis, the consequence/probability matrix was chosen. The following environmental aspects of cryptocurrency were identified and ranked: energy consumption for mining, computer using for mining, energy consumption for cooling of the computers, critical raw materials consumption for computer

production, hazardous electronic waste generation from computer using in the end of life cycle. One of the most significant environmental aspects is energy consumption. As a result of the study, it was concluded that using of traditional energy sources for blockchain technology, the digital economy will be formed contrary to the interests of sustainable development and the principles of a low-carbon economy. In order to implement the national program “Digital Economy of the Russian Federation”, the transition to renewable energy will provide a breakthrough in the transformation of the existing economic model into digital without significant impact to the environment.

Keywords: sustainable development, digital economy, blockchain technology, cryptocurrency, environmental aspect, green cryptocurrency, alternative energy.

Актуальность и проблема

Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» утверждена в декабре 2018 года с целью реализации комплексной цифровой трансформации экономики и социальной сферы России к концу 2024 года [1]. Цифровая экономика направлена на создание устойчивой и безопасной информационно-коммуникационной инфраструктуры высокоскоростной передачи, обработки и хранения больших объемов данных [2]. Технология блокчейн активно используется для формирования цифровой экономики, в частности для «производства» криптовалюты, отслеживания товаров, исполнения контрактов и пр. [3]. Стремительный рост использования технологии блокчейн в мире привлек внимание к его экологическим аспектам, поскольку данная технология основана на использовании значительных вычислительных мощностей, следовательно на потреблении большого количества энергоресурсов. В большинстве случаев используются традиционные невозобновляемые источники энергии, что приводит к истощению природных ресурсов. Для достижения устойчивого развития цифровой экономики необходимо разработать альтернативную стратегию развития блокчейн с использованием возобновляемых источников энергии. Необходимость перехода к новому курсу в развитии «зеленой» или «низкоуглеродной» экономики в области применения технологии блокчейн определяет актуальность выбранной темы исследования.

Таким образом, в *рамках научного исследования были поставлены следующие задачи:*

- Определить сущность технологии блокчейн для производства криптовалюты и ее роль в развитии цифровой экономики;
- Провести анализ тенденций развития цифровой экономики и криптовалюты в Российской Федерации и за рубежом;
- Идентифицировать и выявить значимые экологические аспекты криптовалюты в соответствии с требованиями международного стандарта системы экологического менеджмента ISO 14001;
- Сформулировать рекомендации по внедрению «зеленой» криптовалюты.

Блокчейн технологии для производства криптовалюты

Майнинг или производство криптовалюты – это процесс генерации цифровых монет за счет выполнения математических расчетов хеш-функций для подтверждения и проверки транзакций в блокчейне [4]. Блокчейн представляет собой выстроенную по определенным правилам непрерывную последовательную цепочку блоков, где каждый последующий блок хранит в себе данные всей цепи, начиная с самого первого [5]. Криптографическая подпись связывает между собой все блоки, которые расположены в строгом хронологическом порядке. Такой подход обеспечивает высокую степень безопасности и надежности, что обуславливает актуальность использования в финансовой сфере [6].

Блокчейн технология на сегодняшний день является серьезным инновационным прорывом как за рубежом, где были разработаны первые блоки для реализации идеи создания цифровых монет «биткоин», так и в России, где блокчейн развивается быстрыми темпами. С созданием блокчейна наступила новая эра в области хранения данных. Технология вскоре изменит мир, причем не только в финансовом секторе, но и в правительстве, медицине, логистике, образовании и бизнесе. Технология блокчейна актуальна в области защиты людей от мошеннических схем и в других областях, где требуется работа с большими данными. Конечно, этой системе присуще как преимущества, так и недостатки.

Блокчейн делает передачу данных быстрее, безопаснее и дешевле, поскольку исключает участие посредников, обеспечивает безопасность информации, работает автоматически и снижает риск человеческих ошибок. В этой

прозрачной базе данных информация защищена от незаконных манипуляций, изменений или искажений частей блокчейна, потому что практически невозможно контролировать все компьютеры, которые работают в Интернете, для создания блоков и цепочек [3].

Правительство Российской Федерации официально объявило о политике полного реформирования государственного аппарата и переориентации приоритетных задач страны на цифровую экономику [7]. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» охватывает широкий спектр применения технологии блокчейн, в частности в банковской и коммерческой сферах - размещение частных акций малых и средних предприятий в сфере денежного обращения; торговля и погашение крупных залоговых кредитов; работа с пенсионными фондами, фондами социального страхования; документооборот; ипотечное кредитование и многое другое [8].

Самым успешным глобальным проектом с использованием технологии блокчейн по-прежнему остается криптовалюта. В настоящее время ведется работа по выпуску специальных акций IPO (англ. Initial Public Offering — первичное публичное предложение акций) и ICO (англ. Initial Coin Offering — первичное предложение (размещение) монет), а в последнее время в мире началась торговля фьючерсами на криптовалюту [9].

Тенденции развития рынка криптовалюты

Новые виды криптовалют появляются практически каждый день. Общее количество криптовалют в мире составляет более 1300 и постоянно растет [6].

Большинство криптовалют имеют общую особенность: они построены на основе технологии блокчейна, которая хранит всю информацию о транзакциях, зашифрованных с помощью криптографии. Но каждая криптовалюта имеет свои особенности. Криптовалюты отличаются по стоимости, консенсусу сети, алгоритму криптографии и важнейшим функциям [6]. Основным типом и самой дорогой цифровой валютой сегодня является биткоин. Биткоин является основоположником всех криптовалют, так как остальные цифровые монеты построены на его модифицированном коде.

Биткоин активно используется в разных странах мира, прежде всего в самых развитых странах, таких как Япония, Люксембург, Сингапур и Катар. В Японии биткоины являются законным платежным средством, но организации, которые их принимают, должны получить специальную лицензию. Крупнейшие мировые компании, такие как Dell, Microsoft и PayPal, уже начали принимать биткоины к оплате, и список таких организаций активно растет.

В Российской Федерации технология блокчейн начала активно развиваться в 2016 году. На встрече президента России Владимира Путина и председателя Сбербанка России Германа Грефа было сделано заявление, что блокчейн мог бы существенно обновить механизмы государственного регулирования и схемы финансового управления. В результате была сформирована рабочая группа по изучению блокчейн технологии [10].

На сегодняшний день в России есть свой тип криптовалюты, который называется Ethereum. Эта финансовая единица была предложена В. Бутериным в 2013 году, но, окончательно, валюта появилась на рынке в 2015 году. Ethereum - это не только криптовалюта, но и платформа, созданная для реализации децентрализованных онлайн-сервисов на основе блокчейна [3]. Ethereum входит в список основных типов криптовалют, который пользуется устойчивым спросом. Он занимает вторую или третью позицию в списке самых популярных цифровых монет, что является очень хорошим показателем для молодой криптовалюты [2, 11].

На протяжении существования криптовалюты процесс ее производства оставался неизменным, но с ростом популярности масштаб операций резко возрос. Согласно статистике Digiconomist, в феврале 2019 года количество электроэнергии, расходуемой на майнинг, превысило 53 тераватт в час за год [12]. Этот показатель превышает уровень годового потребления энергии в таких странах, как Молдова, Исландия, Ирландия, стран Балтийского региона, а также Африканских стран. Россия занимает третье место по потреблению энергии для производства криптовалюты по отношению к годовому потреблению электроэнергии с показателем 1000 ТВт/ч [13]. По этому показателю Россия уступает Китаю и США (0,49% и 0,74% соответственно). По оценкам исследователей, если эта тенденция сохранится, к 2020 году потребление энергии на один майнинг превысит мировое потребление электроэнергии в год [14].

Одной из наиболее известных ферм по производству криптовалюты является ферма GenesisMining, которая находится в Исландии [15]. Выбор месторасположения фермы обусловлен холодным климатом страны, поскольку именно естественное охлаждение позволяет значительно снизить себестоимость биткоина. Кроме того, Исландия страна славится дешевым электричеством и высокой скоростью Интернета.

Создатель биткоин-ферм в Швейцарии Гвидо Рудольфи уверен, что миру нужны криптовалюты, как когда-то был нужен Интернет [16]. Рудольфи создал несколько ферм, самая большая из которых, расположена в районе Линталь с наиболее дешевой электроэнергией.

Однако рассмотрение только экономического фактора при производстве криптовалюты не отвечает целям устойчивого развития, и требуется рассмотрение экологических аспектов майнинга, поскольку экологические риски при сложившихся тенденциях развития рынка криптовалюты слишком велики. Анализ экологических воздействий криптовалюты и их причин предлагается выполнить с использованием матрица последствий и вероятностей.

Методология анализа экологических аспектов

Матрица последствий и вероятностей является одним из наиболее распространенных инструментов оценки рисков. В соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011 «Менеджмент риска. Методы оценки риска»¹ данная методология является средством объединения качественных или смешанных оценок последствий и вероятностей для идентификации, анализа и определения уровня риска. В качестве входных данных к процессу используются шкалы, установленные в соответствии с требованиями заинтересованных сторон, и матрица, которая их объединяет.

Вероятность следует рассматривать, как возможность наступления события, которое может привести к возникновению риска. Определение вероятности может быть основано на анализе имеющегося опыта, исторических данных, географического месторасположения, политических и социальных аспектах (табл. 1).

Таблица 1

Описание вероятности наступления события

Рейтинг вероятности	Критерии
Очень высокий	<ul style="list-style-type: none"> Событие уже произошло или происходит в настоящий момент, которое привело к риску Сто процентная вероятность наступления риска
Высокий	<ul style="list-style-type: none"> Высокая вероятность наступления риска Риск мог бы произойти, если бы не был активно предотвращен
Средний	<ul style="list-style-type: none"> Риск может наступить при определенных обстоятельствах. Существуют предпосылки наступления этих обстоятельств
Низкий	<ul style="list-style-type: none"> Риск может наступить при определенных обстоятельствах. Предпосылки наступления этих обстоятельств отсутствуют, но потенциально возможны
Очень низкий	<ul style="list-style-type: none"> События, способствующие наступлению риска, маловероятны

Шкала последствий / воздействий на окружающую среду охватывает весь диапазон рассматриваемых последствий, который необходимо учитывать, и включает в себя финансовые потери, прямые и косвенные затраты, экологические и другие параметры (табл. 2).

Диапазон варьируется от критического воздействия до незначительного или очень низкого. Даже если вероятность возникновения риска мала, но затраты на ликвидацию последствий высокие, то необходимо разработать меры по управлению данным видом риска.

¹ ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011 «Менеджмент риска. Методы оценки риска»

Таблица 2

Описание последствий

Уровень воздействия	Описание последствий
Критический	<ul style="list-style-type: none"> • значительное воздействие на окружающую среду, которое приводит к уголовной или административной ответственности • значительные финансовые потери (снижение стоимости акций) • серьезные репутационные и имиджевые риски, которые приводят к потере продаж, конкурентных преимуществ • негативное освещение в международных СМИ
Высокий	<ul style="list-style-type: none"> • значительное воздействие на окружающую среду, которое приводит к административной ответственности, штрафным санкциям • значительные финансовые потери (снижение продаж, уменьшение доли рынка) • возможные репутационные и имиджевые риски • негативное освещение в национальных СМИ
Средний	<ul style="list-style-type: none"> • воздействие на окружающую среду в соответствии с лимитами и требованиями законодательства • финансовые затраты на экологическую деятельность • средняя вероятность наступления репутационных и имиджевых рисков • негативное освещение в СМИ на локальном уровне
Низкий	<ul style="list-style-type: none"> • Воздействие на окружающую среду без негативных тенденций • Незначительные финансовые потери • Отсутствие рисков для имиджа и репутации • Отсутствие заинтересованности со стороны СМИ
Очень низкий	<ul style="list-style-type: none"> • Воздействие на окружающую среду отсутствует • Отсутствие финансовых затрат • Отсутствие рисков для имиджа и репутации • Отсутствие заинтересованности со стороны СМИ

Результирующая матрица с указанием вероятности и последствий позволяет определить зоны допустимого риска (табл. 3).

Таблица 3

Матрица вероятности и последствий

Рейтинг вероятности	Рейтинг последствий				
	Очень Низкий	Низкий	Средний	Высокий	Критический
Очень высокий	Очень низкий	Низкий	Средний	Высокий	Критический
Высокий	Очень низкий	Низкий	Средний	Высокий	Критический
Средний	Очень низкий	Низкий	Средний	Высокий	Высокий
Низкий	Очень низкий	Очень низкий	Низкий	Средний	Средний
Очень низкий	Очень низкий	Очень низкий	Низкий	Средний	Низкий

Выбор категории риска преимущественно основан на экспертной оценке. С помощью матрицы вероятностей и последствий авторами проведена идентификация и оценка экологических аспектов, а также определены значимые экологические аспекты и связанные с ними экологические риски (табл. 4).

Согласно требованиям международного стандарта системы экологического менеджмента ISO 14001 анализ экологических аспектов является основным элементом для дальнейшего управления экологическими рисками.² [17].

Анализ экологических аспектов майнинга криптовалюты

Анализ экологических аспектов включает в себя рассмотрение каждой стадии жизненного цикла криптовалюты: от извлечения природных ресурсов для производства вычислительной техники до утилизации электронных отходов, образовавшихся в конце срока службы оборудования. На стадии майнинга цифровых монет проводится оценка воздействия на окружающую среду, а именно потребление электроэнергии для производства криптовалюты и для охлаждения вычислительной техники, выделение тепла во время работы ферм, а также воздействие на атмосферный воздух в результате выбросов парниковых газов (табл. 4) [18].

Таблица 4

Анализ экологических аспектов майнинга криптовалюты

Экологический аспект	Экологическое воздействие	Вероятность	Последствия	Риск
1. Использование редкоземельных металлов для производства оборудования	Истощение природных ресурсов	Высокий	Высокий	Высокий
2. Потребление энергии для майнинга	Истощение природных ресурсов	Очень высокий	Критический	Критический
	Загрязнение воздуха (углеродный след)	Высокий	Высокий	Высокий
3. Использование вычислительной техники для майнинга	Загрязнение воздуха в результате выделения тепла	Очень высокий	Критический	Критический
4. Энергопотребление для охлаждения вычислительной техники	Истощение природных ресурсов	Очень высокий	Высокий	Высокий
5. Образование электронных отходов в конце жизненного цикла оборудования	Загрязнение почвы опасными отходами	Высокий	Средний	Высокий

Результаты и обсуждение

Использование редкоземельных металлов для производства вычислительной техники

Редкоземельные металлы признаны экономически и стратегически важными, поскольку являются незаменимыми в высокотехнологичных отраслях, таких как металлургия, солнечная энергетика, медицина, электроника [19]. Промышленность и экономика большинства стран, в том числе стран Европейского Союза, зависят от импортных поставок редкоземельных металлов [20].

Однако основной проблемой редкоземельных металлов заключается в их воздействии на окружающую среду во время добычи, в результате которой образуется большое количество токсичных выбросов [21].

² ГОСТ Р ИСО 14001:2016

Потребление энергии для майнинга

В Китае, в котором сосредоточены основные мощности производства криптовалюты, большинство ферм получают энергию от «грязных» угольных электростанций. Правительство на законных основаниях ограничило вредные выбросы в атмосферу и рассматривает возможность введения новых налогов, направленных на контроль за внутренним рынком электроэнергии и криптовалютных операций [22].

Немецкий математик Мориц Струбе рассчитал ежемесячное потребление электроэнергии для производства криптовалюты в мире, которое составило 1,17 тераватт-час. Отметим, что электропотребление Словении составляет 1,08 тераватт-час [23].

Загрязнение атмосферного воздуха (углеродный след)

Анализ австралийского бизнесмена Ника Гогерти показывает, что себестоимость криптовалюты состоит на 90% из затрат на электроэнергию [24]. По его расчетам на каждый мегаватт электроэнергии, расходуемой на добычу биткоинов, в атмосферу выбрасывается 0,65 тонны CO₂. [23, 25]. Однако истинное воздействие на атмосферный воздух оценить проблематично, так как майнинг криптовалюты может происходить и в центрах обработки данных, и на фермах, а также дома или в гаражах. Данный факт делает оценку «углеродного следа» очень сложной, поскольку для майнинга используется множество различных типов оборудования.

Загрязнение воздуха в результате выделения тепла и потребления энергии для охлаждения компьютеров

Оборудование для производства криптовалюты, находясь в постоянной работе, выделяет большое количество тепла. Без достаточного кондиционирования помещений техника может перегреваться и выходить из строя. Для правильной работы данного оборудования необходимо поддержание постоянной температуры окружающей среды. Следовательно, требуется дополнительное холодильное оборудование, кондиционеры или вентиляторы, которые в свою очередь потребляют значительное количество электроэнергии [13].

Образование электронных отходов в конце жизненного цикла оборудования

Большое количество компьютеров и электронного оборудования используются для майнинга. Развитие криптовалюты требует модернизации и постоянного обновления майнинговых ферм. Таким образом, образуется значительное количество электронных отходов. Электронные отходы - это один из видов отходов, содержащих электронные и другие электрические устройства, а также их части³. Электронные отходы могут иметь высокий класс опасности из-за содержащихся в них веществ, таких как свинец, ртуть, полихлорированные бифенилы, поливинилхлорид и пр [26, 27].

Из-за увеличения производства криптовалюты в последние годы потребление электроэнергии майнинговыми фермами значительно возросло. Если промышленность продолжит использовать энергию, получаемую при сжигании топлива, это нанесет большой вред окружающей среде в виде загрязнения и выбросов парниковых газов. Используя традиционные источники энергии, цифровая экономика будет формироваться вразрез с интересами устойчивого развития и принципами низкоуглеродной экономики. Очевидно, что переход на возобновляемую энергетику позволит обеспечить прорыв в трансформации существующей экономической модели в цифровую без значительного ущерба окружающей среде. Эта задача становится остро актуальной в свете ратификации Парижского соглашения в РФ [28].

Примеры генерирующих мощностей для майнинга с использованием возобновляемых источников энергии уже реализованы на практике.

Во всем мире уже более века существуют гидроэлектростанции, но их применение для производства криптовалюты началось сравнительно недавно. Гидро-майнинг - как особый способ майнинга криптовалют,

³ Правительство российской федерации распоряжение от 25 мая 2018 г. № 982-р «О подписании Соглашения о сотрудничестве государств - участников Содружества Независимых Государств в области обращения с отходами электронного и электротехнического оборудования».

основанный на использовании электроэнергии гидроэлектростанций и систем водяного охлаждения позволяет сделать процесс добычи монет более экономичным и экологичным.

Наряду с «экологически чистой» криптовалютой, существует экологически ответственная криптовалюта. Например, криптовалюта – BitSeeds отчисляет 10% выпущенных единиц BitSeeds в Фонд тропических лесов для финансирования их восстановления [22]. Еще одним примером «зеленой» криптовалюты является SolarCoin, основная цель которой заключается в стимулировании производителей энергии с использованием солнечных батарей [24, 29].

Заключение

Криптовалюта является одним из примеров применения технологии блокчейн которая с каждым годом находит все более широкое применение. Тенденции развития цифровых денег также проявляются в России, и поддерживаются принятой в декабре 2018 года Национальной программой «Цифровая экономика Российской Федерации». Однако приступая к реализации программы необходимо обращать внимание на возможные экологические риски и принимать обоснованные решения о распространении криптовалюты на национальном уровне, использовании технологии блокчейна и возможной замене в России традиционных источников энергии на альтернативные.

Анализ экологических аспектов основан на методологии оценки рисков с использованием матрицы вероятностей и последствий. Матрица последствия / вероятности была выбрана в качестве методологии анализа экологических аспектов по следующим причинам: метод относительно прост в использовании; обеспечивает быстрое ранжирование рисков по различным уровням значимости, привлекает широкий круг экспертов, учитывает опыт разработчиков.

Выполненная оценка рисков, позволила выявить и качественно, на основе литературных данных, оценить экологические аспекты в жизненном цикле криптовалюты от потребления энергии и добычи полезных ископаемых для производства вычислительной техники до утилизации опасных электронных отходов в конце жизненного цикла оборудования. Результаты качественного анализа экологических аспектов майнинга должны быть дополнены количественной оценкой, но уже на данном этапе концептуально могут служить для выбора стратегии устойчивого развития цифровой экономики, стать своеобразным «входом» в процессы принятия решений.

Учитывая, что майнинговые компании имеют свои фермы в странах с низкими затратами на электроэнергию, сложность майнинга продолжает расти, увеличивая потребность в электроэнергии. Индустрия криптовалюты потребует развития альтернативной энергетики уже в ближайшем будущем.

Литература

1. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://digital.gov.ru/ru/>
2. Козырев А.Н. Цифровая экономика и цифровизация в исторической перспективе, Электронный журнал «Цифровая экономика» 1(1)2018, с.5-19
3. Бабкин А.В., Буркальцева Д.Д., Пшеничников В.В., Тюлин А.С. Криптовалюта и технологии в цифровой экономике: генезис развития, Журнал Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономика, 10 (5) (2017) 9-22. DOI: 10.18721 / JE.10501.
4. Pilkington, Marc, Blockchain Technology: Principles and Applications. Research Handbook on Digital Transformations, edited by F. Xavier Olleros and Majlinda Zhegu. USA, Edward Elgar, 2016, p.225-254. [Electronic resource] - Access mode <https://ssrn.com/abstract=2662660>.
5. Nokomoto S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. [Electronic resource] - Access mode <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
6. Kuo Chuen, D. L. Hand Book of Digital Currency Bitcoin, Innovation, Financial Instruments, and Big Data, USA, Elsevier, 2015, 588 p.
7. Сайт Министерства финансов Российской Федерации. [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.minfin.ru/ru/>
8. Цифровая экономика РФ [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/>
9. Andonia, M., Robua, V., Flynn, D., Abramb, S., Geache, D., Jenkins, D., McCallum, P., Peacock, A. Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2019, Vol.100, p. 143-174.

10. Гос. Бизнес. ЭТО. [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.tadviser.ru>
11. *Ехлакова Е.А., Горбунов И.О., Масленникова А.В.* Криптовалюта: истоки и будущие перспективы, *Электронный научный журнал «Вектор экономики»* 2018 №11.
12. Платформа digiconomist, Bitcoin Energy Consumption Index [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>
13. *Теткин М.* Может ли «добыча» биткоинов быть экологичной [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.rbc.ru/trends/green/5d664a839a794734e3e91dd5>
14. Тренд потребления электроэнергии биткоином [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://theworldonly.org/bitcoin-energiya/>
15. Genesis Mining [Electronic resource] - Access mode https://ru.wikipedia.org/wiki/Genesis_Mining
16. *Евтушенко А.* Откуда берутся биткоины, портал Газета.ru [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.gazeta.ru/tech/2016/07/12/9631337/bitcoin-farms.shtml>
17. ISO International Organization for Standardization Environmental management system, standard ISO 14001:2015, edition 3, 2015, p.35, ICS 13.020.10, [Electronic resource] - Access mode <https://www.iso.org/standard/60857.html>.
18. *Pavlova, A., Daniliuk, M., Sergienko, O., Savoskula, V., Pavlov, A.* ENVIRONMENTAL ASPECTS OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN ACCORDANCE WITH ISO 14001 REQUIREMENT // 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM 2019 - 2019. - Т. 19. - № 5.3. - С. 267-274.
19. Critical Raw Materials [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://criticalrawmaterials.org/critical-raw-materials/>
20. *Ярыгин Т. Л.* МИРОВОЙ РЫНОК РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ LXXI Международной научно-практической конференции «Научное сообщество студентов XXI столетия. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ» (Россия, г. Новосибирск, 12 ноября 2018 г.)
21. European Commission [Electronic resource] - Access mode http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en
22. *Lia, J., Lia, N., Peng, J., Cuia, H., Wua, Z.* Energy consumption of cryptocurrency mining: A study of electricity consumption in mining cryptocurrencies, *Energy*, 2019, Vol. 168, p. 160-168.
23. *Palacio, N. S.* Blockchain: A technological tool for sustainable development or a massive energy consumption network, *Bionatura* 2018, Vol. 3, No. 4, [Electronic resource] - Access mode <http://revistabionatura.com/2018.03.04.11.html>.
24. Solarcoin [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://solarcoin.org>
25. *Karl J. O., Malone, D.* Bitcoin Mining and its Energy Footprint, Limerick, June 26–27 In: Proceedings of the 25th Joint IET Irish Signals & Systems Conference 2014 and 2014 China-Ireland International Conference on Information and Communications Technologies, pp. 280-285.
26. *Греков К.Б.* Электронные отходы: вызов XXI Века, конференция «Экологическая безопасность: проблемы и пути решения» (Санкт-Петербург, 12-13 апреля 2018 г.): сборник тезисов и докладов – 2018. – С. 26-27
27. *R. Scott Frey* The e-waste stream in the world-system, *Journal of Globalization Studies*, Vol. 3 No. 1, May 2012 79–94
28. Информационный портал РИА Новости «Медведев подписал постановление о принятии Парижского соглашения по климату» <https://ria.ru/20190923/1559003977.html>
29. *Andonia, M., Robua, V., Flynn, D., Abramb, S., Geach, D., Jenkins, D., McCallum, P., Peacock, A.* Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, Vol.100, p. 143-174.

References

1. Ministerstvo cifrovogo razvitiya, svyazi i massovyh kommunikacij Rossijskoj Federacii [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa <https://digital.gov.ru/ru/>
2. *Kozyrev A.N.* Cifrovaya ekonomika i cifrovizaciya v istoricheskoy perspektive // *Elektronnyj zhurnal «Cifrovaya ekonomika»*. 1(1).2018. s.5-19.
3. *Babkin A.V., Burkal'ceva D.D., Pshenichnikov V.V., Tyulin A.S.* Kriptovalyuta i tekhnologii v cifrovoj ekonomike: genezis razvitiya, *ZHurnal Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomika*, 10 (5) (2017) 9-22. DOI: 10.18721 / JE.10501.
4. *Pilkington, Marc*, Blockchain Technology: Principles and Applications. Research Handbook on Digital Transformations, edited by F. Xavier Olleros and Majlinda Zhegu. USA, Edward Elgar, 2016, p.225-254. [Electronic resource] - Access mode <https://ssrn.com/abstract=2662660>.

5. Nokomoto S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. [Electronic resource] - Access mode <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
6. Kuo Chuen, D. L. Hand Book of Digital Currency Bitcoin, Innovation, Financial Instruments, and Big Data, USA, Elsevier, 2015, 588 p.
7. Sajt Ministerstva finansov Rossijskoj Federacii. [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa <https://www.minfin.ru/ru/>
8. Cifrovaya ekonomika RF [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/>
9. Andonia, M., Robua, V., Flynna, D., Abramb, S., Geachc, D., Jenkinsd, D., McCallumd, P., Peacock, A. Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2019, Vol.100, p. 143-174.
10. Gos. Biznes. ETO. [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa <http://www.tadviser.ru>
11. Ekhlakova E.A., Gorbunov I.O., Maslennikova A.V. Kriptovalyuta: istoki i budushchie perspektivy, Elektronnyj nauchnyj zhurnal «Vektor ekonomiki» 2018 №11.
12. Platforma digiconomist, Bitcoin Energy Consumption Index [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>
13. Tetkin M. Mozhet li «dobycha» bitkoinov byt' ekologichnoj [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa <https://www.rbc.ru/trends/green/5d664a839a794734e3e91dd5>
14. Trend potrebleniya elektroenergii bitkoinom [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa <https://theworldonly.org/bitkoin-energiya/>
15. Genesis Mining [Electronic resource] - Access mode https://ru.wikipedia.org/wiki/Genesis_Mining
16. Evtushenko A. Otkuda berutsya bitkoiny, portal Gazeta.ru [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa <https://www.gazeta.ru/tech/2016/07/12/9631337/bitcoin-farms.shtml>
17. ISO International Organization for Standardization Environmental management system, standard ISO 14001:2015, edition 3, 2015, p.35, ICS 13.020.10, [Electronic resource] - Access mode <https://www.iso.org/standard/60857.html>.
18. Pavlova, A., Daniliuk, M., Sergienko, O., Savoskula, V., Pavlov, A. ENVIRONMENTAL ASPECTS OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN ACCORDANCE WITH ISO 14001 REQUIREMENT // *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM 2019 - 2019*. - T. 19. - № 5.3. - S. 267-274.
19. Critical Raw Materials [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa <http://criticalrawmaterials.org/critical-raw-materials/>
20. YArgin T. L. MIROVOJ RYNOK REDKOZEMEL'NYH METALLOV LXXI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Nauchnoe soobshchestvo studentov XXI stoletiya. EKONOMICHESKIE NAUKI» (Rossiya, g. Novosibirsk, 12 noyabrya 2018 g.)
21. European Commission [Electronic resource] - Access mode http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en
22. Lia, J., Lia, N., Peng, J., Cuia, H., Wua, Z. Energy consumption of cryptocurrency mining: A study of electricity consumption in mining cryptocurrencies, Energy, 2019, Vol. 168, p. 160-168.
23. Palacio, N. S. Blockchain: A technological tool for sustainable development or a massive energy consumption network, Bionatura 2018, Vol. 3, No. 4, [Electronic resource] - Access mode <http://revistabionatura.com/2018.03.04.11.html>.
24. Solarcoin [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa <https://solarcoin.org>
25. Karl J. O., Malone, D. Bitcoin Mining and its Energy Footprint, Limerick, June 26–27 In: Proceedings of the 25th Joint IET Irish Signals & Systems Conference 2014 and 2014 China-Ireland International Conference on Information and Communications Technologies, pp. 280-285.
26. Grekov K.B. Elektronnyye othody: vyzov XXI Veka, konferenciya «Ekologicheskaya bezopasnost': problemy i puti resheniya» (Sankt-Peterburg, 12-13 aprelya 2018 g.): sbornik tezisov i dokladov – 2018. – S. 26-27
27. R. Scott Frey The e-waste stream in the world-system, Journal of Globalization Studies, Vol. 3 No. 1, May 2012 79–94
28. Informacionnyj portal RIA Novosti «Medvedev podpisal postanovlenie o prinyatii Parizhskogo soglasheniya po klimatu» <https://ria.ru/20190923/1559003977.html>
29. Andonia, M., Robua, V., Flynna, D., Abramb, S., Geachc, D., Jenkinsd, D., McCallumd, P., Peacock, A. Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2019, Vol.100, p. 143-174.

Статья поступила в редакцию 15.07.2019 г.