

КЛИМАТ И ЭНЕРГИЯ ПОСЛЕДСТВИЯ КРИПТО-АКТИВЫ В СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ

СЕНТЯБРЬ 2022 г.





Оглавление

Декларация о намерениях	3
О межведомственном процессе.....	3
Предлагаемая цитата	3
Об Управлении научно-технической политики.....	3
Резюме и рекомендации	4
1. Мотивация и введение	9
Решение климатического кризиса является ключевым приоритетом администрации Байдена-Харриса.....	9
Соединенные Штаты должны способствовать ответственному развитию цифровых активов	9
Крипто-активы используют цифровую криптографию для ведения финансовой отчетности.....	10
2. Крипто-активы влияют на использование электроэнергии и энергосистему.....	13
Потребление электроэнергии различается для разных типов крипто-активов	13
Использование электроэнергии в результате деятельности крипто-активов.....	14
Сравнение с другими финансовыми операциями.....	16
Майнинг крипто-активов может повлиять на потребителей электроэнергии и энергосистему	16
Будущие прогнозы использования электроэнергии крипто-активами неопределенны	18
3. Крипто-активы приводят к выбросам парниковых газов и другим воздействиям на окружающую среду.....	21
Майнинг крипто-активов с использованием электроэнергии из сети приводит к выбросам парниковых газов — если только майнинг не использует чистую энергию	21
Добыча крипто-активов может быть основана на метане и возобновляемых источниках энергии	23
Воздействие на окружающую среду включает загрязнение воздуха и воды, шум и электронные отходы	25
4. Новые технологии цифровых активов могут способствовать мониторингу климата или смягчению его последствий.....	27
Блокчейны и распределенные реестры на экологических рынках	27
Блокчейн как технология, обеспечивающая распределенные энергетические ресурсы	29
5. Приложения.....	31
Таблица А.1.....	31
Таблица А.2.....	32
Таблица А.3.....	32
Таблица А.4.....	33
Список сокращений.....	35
Межведомственный политический комитет	36
6. Концевые сноски.....	37

Декларация о намерениях

9 марта 2022 года президент Байден подписал Исполнительный указ 14067: «Обеспечение ответственного развития цифровых активов» 1, чтобы поддержать ответственное развитие цифровых активов в соответствии с нашими целями в области изменения климата и на благо всех жителей Америки. Президент поручил Управлению научно-технической политики Белого дома (OSTP) и его партнерам из Администрации президента и федеральных агентств изучить: связи между технологиями распределенного реестра (DLT) и энергетическими переходами, потенциал для эти технологии, чтобы препятствовать или продвигать усилия по борьбе с изменением климата в стране и за рубежом, а также влияние этих технологий на окружающую среду. В этом отчете представлена оценка, указанная в соответствии с Исполнительным указом 14067.

О межведомственном процессе

Создание этого отчета координировалось в рамках межведомственного процесса под руководством помощника президента по вопросам национальной безопасности и помощника президента по экономической политике, как описано в разделе 3 указа президента № 14067. Список департаментов и агентств, участвующих в этом межведомственном процессе можно найти в разделе «Межведомственный политический комитет» приложений.

Предлагаемая цитата

ОСТП (2022). Климатические и энергетические последствия криптоактивов в Соединенных Штатах. Управление Белого дома по научно-технической политике. Вашингтон, округ Колумбия, 8 сентября 2022 г.

Об Управлении науки и технологий

Политика

Управление научно-технической политики (OSTP) было создано в соответствии с Законом о национальной научно-технической политике, организации и приоритетах 1976 года для предоставления президенту и другим лицам в Администрации президента консультаций по научным, инженерным и технологическим вопросам. аспекты экономики, национальной безопасности, национальной безопасности, здравоохранения, международных отношений, окружающей среды, а также технологического восстановления и использования ресурсов, среди прочего темы. OSTP возглавляет усилия по координации межведомственной политики в области науки и технологий, помогает Административно-бюджетному управлению в ежегодном обзоре и анализе федеральных исследований и разработок в бюджете и служит источником научно-технического анализа и суждений для президента в отношении основных политики, планов и программ федерального правительства. Более подробная информация доступна на <http://www.whitehouse.gov/ostp>.



Резюме и рекомендации

Национальная оценка климата США и Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) показывают, что сокращение глобальных антропогенных выбросов парниковых газов (ПГ) до нуля к середине века предотвратит самый серьезный ущерб здоровью человека, экосистемам и инфраструктуре. Эти вызванные климатом убытки включают в себя смертельные случаи, вызванные: периодами сильной жары; потеря лесов, домов и инфраструктуры из-за усиливающихся лесных пожаров; наводнения и экстремальные погодные явления; потеря имущества; повреждение дорог, мостов, систем общественного транспорта и энергосистем; затопление прибрежных районов в результате подъема уровня моря и штормовых нагонов; засухи; повреждение посевов; и другой ущерб экосистемам, поддерживающим жизнь людей.^{2,3} Ущерб, усугубляемый изменением климата, неравномерен; общины, получающие недостаточное обслуживание, часто несознательно несут наиболее серьезные последствия изменения климата⁴. Изменение климата обходится дорого: в 2021 г. климатические бедствия обошлись Соединенным Штатам в 145 миллиардов долларов⁵. Изменение климата также создает риски для налогоплательщиков, федерального бюджета и федеральных учреждений; без активных действий изменение климата может сократить валовой внутренний продукт США на 3-10 %, а федеральные доходы США — на 7 % в год к концу века⁶. Соединенные Штаты привержены борьбе с климатическим кризисом и сокращению выбросов парниковых газов за счет на 50-52% ниже уровня 2005 года к 2030 году, создание электросети, не загрязняющей выбросы углерода, к 2035 году и достижение нулевого уровня выбросов не позднее 2050 года, при этом приоритетом является экологическая справедливость.

В то же время расширяется использование цифровых активов на основе технологии распределенного реестра. Цифровые активы — это форма стоимости, представленная в цифровом виде. В качестве появляющейся технологической инновации цифровые активы принесли определенные преимущества и ценность для некоторых жителей и предприятий США и могут принести будущие выгоды при появлении новых видов использования. Криптоактивы — это цифровые активы, которые реализованы с использованием криптографических методов и имеют общую текущую глобальную рыночную капитализацию почти в 1 триллион долларов. Однако некоторые технологии криптоактивов в настоящее время требуют значительного количества электроэнергии для создания, владения и обмена активами. Использование электроэнергии цифровыми активами способствует выбросам парниковых газов, дополнительному загрязнению, шуму и другим локальным воздействиям в зависимости от рынков, политики и местных источников электроэнергии. В зависимости от энергоемкости используемой технологии криптоактивы могут помешать более широким усилиям по достижению нулевого выброса углекислого газа в соответствии с обязательствами и целями США в области климата.

Правительство США несет ответственность за обеспечение стабильности электросетей, обеспечение будущего чистой энергии и защиту населения от загрязнения и последствий изменения климата. В этом отчете рассматриваются проблемы и возможности криптоактивов для решения проблем энергетики и изменения климата в Соединенных Штатах, а также даны ответы на четыре основных вопроса, заданных в Исполнительном указе 14067:

1. Как цифровые активы влияют на использование энергии, включая управление сетью и ее надежность, стимулы и стандарты энергоэффективности, а также источники энергоснабжения?
2. Каковы масштабы воздействия цифровых активов на климат, энергию и окружающую среду по сравнению с другими видами использования энергии, и какие инновации и политики необходимы для базовых данных, чтобы обеспечить надежные сравнения?
3. Каковы потенциальные возможности использования технологии блокчейн для поддержки технологий мониторинга климата или смягчения его последствий?

4. Какие ключевые политические решения, важные инновации, исследования и разработки, а также инструменты оценки необходимы для минимизации или смягчения климатических, энергетических и экологических последствий цифровых активов?

Как цифровые активы влияют на использование энергии, включая управление сетью и ее надежность, стимулы и стандарты энергоэффективности, а также источники энергоснабжения?

Криптоактивы потребляют значительное количество электроэнергии.

С 2018 по 2022 год годовой объем электроэнергии, получаемой от глобальных криптоактивов, быстро рос, при этом оценки потребления электроэнергии удвоились, а то и увеличились в четыре раза^{7,8,9}. По состоянию на август 2022 г. 240 миллиардов киловатт-часов в год, что превышает общее годовое потребление электроэнергии во многих отдельных странах, таких как

Аргентина или Австралия. Это эквивалентно от 0,4% до 0,9% годового потребления электроэнергии в мире.^{10,11} и сравнимо с годовым потреблением электроэнергии всеми обычными (т.е. не связанными с криптоактивами) центрами обработки данных в мире. . до 1,7% от общего потребления электроэнергии в США. Этот диапазон потребления электроэнергии подобен всем домашним компьютерам или всему жилому освещению в Соединенных Штатах.¹³ Добыча криптоактивов также отличается высокой мобильностью. Доля США в глобальном майнинге биткойнов, крупнейшего криптоактива, выросла с 3,5% в 2020 году до 38% сегодня, при этом потребление электроэнергии в США для майнинга криптоактивов, хотя и остается относительно небольшим, утроилось с января 2021 года.

Несмотря на потенциал быстрого роста, будущий спрос на электроэнергию от операций с криптоактивами неопределен. Потребление электроэнергии может меняться по мере того, как майнеры криптоактивов наращивают или сокращают свою деятельность в ответ на колебания рыночной стоимости, а также по мере того, как они внедряют новое оборудование и технологии. Годовое глобальное потребление электроэнергии криптоактивами выросло более чем на 67% с июля 2021 года по январь 2022 года, а затем упало на 17% к августу 2022 года. и последующее воздействие на потребителей и сеть. Например, Техас становится все более привлекательным местом для майнинга криптоактивов, на который приходится около 3% местного пикового спроса на электроэнергию. В течение следующего десятилетия в Техасе может появиться дополнительный спрос на электроэнергию на 25 ГВт за счет майнинга криптоактивов, что эквивалентно трети существующего пикового спроса на электроэнергию в Техасе¹⁴. Это увеличение создает потенциальные проблемы для поддержания надежности электроснабжения.

С недавним принятием Закона о снижении инфляции федеральные налоговые льготы и другие стимулы будут стимулировать широкомасштабное развитие экологически чистой энергии, что позволит Соединенным Штатам электрифицировать большую часть транспорта, зданий и промышленных секторов.¹⁵ Крайне важно, чтобы чистая энергия поддерживает этот спрос на новую электрификацию. Кроме того, быстрорастущий новый спрос на электроэнергию должен избегать неконтролируемого воздействия на сеть и использовать наиболее эффективные доступные технологии. Также крайне важно, чтобы электроэнергия оставалась доступной для домов и предприятий. Это особенно важно в данный момент, когда двухпартийный закон об инфраструктуре

позволяя инвестировать в модернизацию и расширение сети, чтобы обеспечить устойчивость к экстремальным погодным явлениям и пожарам, вызванным изменением климата.¹⁶

Использование электроэнергии существенно различается в зависимости от различных технологий криптоактивов.

Почти все использование электроэнергии криптоактивами обусловлено механизмами консенсуса: технологиями распределенного реестра, используемыми для майнинга и проверки криптоактивов. Доминирующий механизм консенсуса

называется Proof of Work (PoW), который используется блокчейнами Биткойн и Эфириум. Биткойн и Эфир, их соответствующие криптоактивы, вместе взятые составляют более 60% от общей рыночной капитализации криптоактивов. Механизм PoW разработан так, чтобы требовать большей вычислительной мощности, поскольку все больше организаций пытаются проверить транзакции для получения вознаграждения в виде монет, и эта функция помогает лишить злоумышленников возможности атаковать сеть. По состоянию на август 2022 года на биткойн, по оценкам, приходилось от 60% до 77% от общего глобального потребления электроэнергии криптоактивами, а на эфириум, по оценкам, приходилось от 20% до 39%.

Альтернативный, менее энергоемкий механизм консенсуса, называемый Proof of Stake (PoS), по оценкам, будет потреблять до 0,28 миллиарда киловатт-часов в год в 2021 году, что составляет менее 0,001% мирового потребления электроэнергии. Текущие дискуссии о сокращении потребления электроэнергии криптоактивами в основном сосредоточены на блокчейнах PoW, в частности на биткойнах.^{17,18} Растет призыв к блокчейнам PoW использовать менее энергоемкие механизмы консенсуса. Наиболее заметной реакцией стал обещанный Эфириумом запуск «Эфириума 2.0», в котором используется механизм консенсуса PoS.

[Каковы масштабы воздействия цифровых активов на климат, энергию и окружающую среду по сравнению с другими видами использования энергии, и какие инновации и политики необходимы в базовых данных для обеспечения надежных сравнений?](#)

Глобальная выработка электроэнергии для криптоактивов с наибольшей рыночной капитализацией привела к совокупному выбросу 140 ± 30 миллионов метрических тонн углекислого газа в год (Мт CO2/год), или около 0,3% глобальных годовых выбросов парниковых газов.

По оценкам, деятельность криптоактивов в Соединенных Штатах приводит к выбросу примерно от 25 до 50 Мт CO2 в год, что составляет от 0,4% до 0,8% от общего объема выбросов парниковых газов в США, аналогично выбросам дизельного топлива, используемого на железных дорогах в Соединенных Штатах. Выбросы парниковых газов в результате использования электроэнергии различаются в зависимости от региона США; некоторые регионы больше полагаются на углеродоемкие ископаемые виды топлива, в то время как другие больше используют ядерные и возобновляемые источники энергии. Помимо покупной электроэнергии из сети, операции по добыче криптоактивов также вызывают локальный шум и воздействие на воду в результате операций, электронные отходы, загрязнение воздуха и другое загрязнение в результате любого прямого использования электроэнергии, полученной из ископаемого топлива, а также дополнительное воздействие на воздух, воду и отходы, связанные со всей сетью. потребление электроэнергии. Эти местные воздействия могут усугубить проблемы экологической справедливости для недостаточно обслуживаемых сообществ. Более широкое внедрение криптоактивов и потенциальное внедрение новых типов цифровых активов требуют действий со стороны федерального правительства для поощрения и обеспечения ответственного развития. Это включает в себя минимизацию воздействия на местные сообщества, резкое снижение энергоемкости и использование чистой электроэнергии. Исследования цифровых активов, в которых особое внимание уделяется инновациям в технологиях следующего поколения, могут способствовать достижению целей США в области безопасности, конфиденциальности, справедливости, устойчивости и климатических целей.

[Каковы потенциальные возможности использования технологии блокчейн, которые могут поддерживать технологии мониторинга климата или смягчения последствий?](#)

Технологии блокчейна потенциально могут сыграть роль на экологических рынках, а DLT потенциально может обеспечить координацию распределенных энергетических ресурсов, а также более широкое управление цепочками поставок.

19,20

DLT позволяет использовать технологии, которые изучаются на различных рынках. Тем не менее, другие решения могут работать так же или даже лучше. Чтобы помочь Соединенным Штатам выполнить свои обязательства в отношении изменения климата, DLT должен быть развернут таким образом, чтобы обеспечить сокращение выбросов парниковых газов. потенциал

выгоды от DLT должны перевешивать дополнительные выбросы и другие экологические внешние эффекты, возникающие в результате операций, чтобы заслужить его более широкое использование в экосистеме рынка углеродных кредитов по сравнению с рынками или механизмами, которые они вытесняют. Варианты использования все еще появляются, и, как и во всех новых технологиях, существуют потенциальные положительные и отрицательные варианты использования, которые еще предстоит вообразить. Правительство США должно способствовать инновациям, которые решают проблемы рынка, соответствуют целям защиты окружающей среды и справедливости и должным образом обеспечивают защиту клиентов и инвесторов и целостность рынка.

Какие ключевые политические решения, важные инновации, исследования и разработки, а также инструменты оценки необходимы для минимизации или смягчения климатических, энергетических и экологических последствий цифровых активов?

Чтобы помочь Соединенным Штатам достичь своих климатических целей по сокращению выбросов парниковых газов на 50-52% к 2030 году, созданию электроэнергетической системы, не загрязняющей выбросы углерода, к 2035 году и экономике с нулевыми выбросами не позднее 2050 года, политика криptoактивов во время перехода на чистую энергию должен быть направлен на достижение нескольких целей: сокращение выбросов парниковых газов, недопущение операций, которые увеличивают стоимость электроэнергии для потребителей, недопущение операций, снижающих надежность электрических сетей, и недопущение негативного воздействия на справедливость, сообщество и местное население. Окружающая среда.

Следующие рекомендации направлены на: устранение пробелов в данных, управление спросом на электроэнергию, сокращение выбросов парниковых газов, сокращение электронных отходов и загрязнения, поддержку перехода к чистой энергии, который в равной степени приносит пользу сообществам по всей стране, и решение давних проблем перегруженных и недостаточно обслуживаемых сообществ.

Для обеспечения ответственного развития цифровых активов рекомендации включают следующие действия для рассмотрения:

- Свести к минимуму выбросы парниковых газов, воздействие на экологическую справедливость и другие местные воздействия криptoактивов: Агентство по охране окружающей среды (EPA), Министерство энергетики (DOE) и другие федеральные агентства должны оказывать техническую помощь и инициировать процесс сотрудничества со штатами, сообществами, индустрией криptoактивов и других для разработки эффективных, основанных на фактических данных экологических стандартов для ответственного проектирования, разработки и использования экологически безопасных технологий криptoактивов. Они должны включать стандарты для очень низкой энергоемкости, низкого потребления воды, низкого уровня шума, использования экологически чистой энергии операторами, а также стандарты, которые со временем усиливаются для дополнительной безуглеродной выработки, чтобы соответствовать или превышать дополнительную электрическую нагрузку этих объектов. Если эти меры окажутся неэффективными для снижения воздействия, администрация должна изучить исполнительные меры, а Конгресс может рассмотреть законопроект, чтобы ограничить или исключить использование механизмов консенсуса с высокой энергоемкостью для майнинга криptoактивов. DOE и EPA должны оказывать техническую помощь государственным комиссиям по коммунальным предприятиям, агентствам по охране окружающей среды и индустрии криptoактивов для наращивания потенциала для минимизации выбросов, шума, воздействия на воду и негативных экономических последствий майнинга криptoактивов; и смягчить экологическую несправедливость по отношению к перегруженным сообществам.
- Обеспечение надежности энергоснабжения: Министерство энергетики совместно с Федеральным органом по регулированию энергетики . Комиссия, Североамериканская корпорация по обеспечению надежности электроснабжения и ее региональные подразделения должны провести оценку надежности текущих и планируемых криptoактивов.

горных работ на надежность и адекватность системы электроснабжения. Если эти оценки надежности обнаружат текущие или ожидаемые риски для энергосистемы в результате добычи криptoактивов, этим организациям следует рассмотреть возможность разработки, обновления и обеспечения соблюдения стандартов надежности и процедур аварийных операций, чтобы обеспечить надежность и адекватность системы в условиях роста криptoактивов. добыча.

- Получение данных для понимания, мониторинга и смягчения воздействия: Управление энергетической информации и другие федеральные агентства должны рассмотреть возможность сбора и анализа информацию от майнеров криpto-активов и электроэнергетических компаний с сохранением конфиденциальности, чтобы можно было принимать обоснованные решения об энергетических и климатических последствиях криptoактивов. Данные должны включать в себя потребление энергии горнодобывающей промышленностью и топливный баланс, соглашения о покупке электроэнергии, последствия для экологической справедливости и участие в реагировании на спрос. OSTP может создать подкомитет Национального совета по науке и технологиям для координации с другими соответствующими агентствами оценки энергопотребления основных криptoактивов.
- Передовые стандарты энергоэффективности: Администрация должна рассмотреть возможность с Конгрессом, чтобы позволить Министерству энергетики и поощрять другие федеральные регулирующие органы обнародовать и регулярно обновлять стандарты энергосбережения для оборудования для майнинга криptoактивов, блокчейнов и других операций.
- Поощрять прозрачность и улучшение экологических показателей: ассоциации индустрии криptoактивов, в том числе майнинговые компании и производители оборудования, следует поощрять к тому, чтобы они публично сообщали о местах добычи криptoактивов, годовом потреблении электроэнергии, выбросах парниковых газов с использованием существующих протоколов и эффективности переработки электронных отходов.
- Дальнейшие исследования для улучшения понимания и инноваций: для улучшения аналитических возможностей, которые могут повысить точность оценок использования электроэнергии и устойчивости, Национальный научный фонд, Министерство энергетики, Агентство по охране окружающей среды и другие соответствующие агентства могут продвигать и поддерживать приоритеты исследований и разработок, которые улучшают экологическую устойчивость цифровых активов, включая моделирование воздействия криpto-активов, оценку воздействия на экологическую справедливость и понимание полезных способов использования сети. управление и смягчение последствий для окружающей среды. Приоритеты исследований и разработок должны подчеркивать инновации в технологиях цифровых активов следующего поколения, которые способствуют достижению целей США в области безопасности, конфиденциальности, справедливости и устойчивости, а также целей США в области климата.



1. Мотивация и введение

Решение климатического кризиса — ключевая задача Байдена-Харриса

Административный приоритет

В соответствии с Исполнительным указом 14008 «Преодоление климатического кризиса в стране и за рубежом» президент поставил национальную цель по сокращению выбросов парниковых газов до нуля к 2050 году²¹ . % до 52% ниже уровня 2005 г. к 2030 г. и подтвердил цель достичь нулевых выбросов парниковых газов к 2050 г. , наша способность жить на планете Земля». Этот Исполнительный указ направлен на решение этого кризиса, в том числе с помощью «общегосударственного подхода, который снижает загрязнение климата во всех секторах экономики... [и] защищает здоровье населения», и предписывает Агентству по охране окружающей среды, OSTP, Министерству финансов и другим федеральным агентствам «придавать приоритетное значение действиям в связи с изменением климата» в процессах разработки политики, среди прочего. Исполнительный указ 13990: «Защита общественного здоровья и окружающей среды и восстановление науки для преодоления климатического кризиса» провозглашает, что федеральное правительство должно руководствоваться передовой наукой для улучшения здоровья населения, защиты окружающей среды, сокращения выбросов парниковых газов, обеспечения доступа к чистому воздуху. и вода, уделять приоритетное внимание экологической справедливости и создавать хорошо оплачиваемые рабочие места для профсоюзов.²³

16 августа 2022 г. президент подписал Закон о снижении инфляции (IRA)²⁴, который представляет собой самую крупную инвестицию в экологически чистую энергию, сокращение выбросов парниковых газов и устойчивость к изменению климата в истории США. Этот закон предусматривает выделение 369 миллиардов долларов на борьбу с изменением климата и укрепление энергетической безопасности США. Прогнозируется, что IRA будет способствовать сокращению выбросов углерода на 40% по сравнению с уровнем 2005 года к 2030 году²⁵. В совокупности климатические цели США, исполнительные указы, двухпартийный закон об инфраструктуре²⁶, Закон о CHIPS и науке²⁷ и IRA устанавливают основу для действий федерального правительства по справиться с климатическим кризисом.

В то же время потребление электроэнергии цифровыми активами в Соединенных Штатах быстро растет. Например, в период с января 2020 г. по январь 2022 г. доля США в глобальном майнинге биткойнов выросла с 4,5% до 37,8%.²⁸ Учитывая приверженность США сокращению выбросов, федеральное правительство должно обеспечить, чтобы использование цифровых активов в Соединенные Штаты не препятствуют нашей способности достичь наших климатических целей. Содержащиеся в этом отчете оценка и рекомендации в отношении климатических и энергетических последствий использования цифровых активов согласуются с действиями федерального правительства, направленными на сокращение выбросов парниковых газов для защиты здоровья и благосостояния населения, а также для повышения экологической справедливости.

Соединенные Штаты должны способствовать ответственному развитию цифровых активов

В указе президента Байдена об обеспечении ответственного развития цифровых активов говорится, что «Соединенные Штаты заинтересованы в ответственных финансовых инновациях» .

правительство «должно предпринять решительные шаги для снижения рисков, которые цифровые активы могут представлять для потребителей, инвесторов и защиты бизнеса... доступность финансовых услуг и справедливость; и изменение климата и загрязнение». С этой целью в основных политических целях Исполнительного указа признается, что федеральное правительство «должно защищать потребителей, инвесторов и предприятия» и что «Соединенные Штаты заинтересованы в обеспечении разработки, проектирования и внедрения технологий цифровых активов и экосистем цифровых платежей». реализовано ответственным образом, что... уменьшает негативное воздействие на климат и загрязнение окружающей среды, которые могут возникнуть в результате майнинга криптовалют».

Криptoактивы используют цифровую криптографию для поддержания финансовые записи

Криptoактивы — это тип цифровых активов частного сектора, которые зависят от криптографии и DLT или аналогичных технологий. В то время как другие активы могут включать цифровое представление стоимости, активы являются криptoактивами только в том случае, если они основаны на криптографии и DLT, таких как блокчейн. Распределенный реестр — это база данных, в которой участники общей сети могут записывать транзакции. Эта книга предоставляет механизм, с помощью которого все пользователи могут согласовывать записи и транзакции в книге. называются механизмами консенсуса. Различные механизмы консенсуса применяют разные правила, когда участники могут отправлять обновления реестра. Например, механизмы консенсуса PoW,²⁹ которые в настоящее время используются для Биткойна, Эфириума и других блокчейнов, требуют завершения вычислительно-интенсивного процесса, прежде чем набор транзакций или «блок» будет проверен и добавлен в реестр. Это гарантирует, что участники готовы тратить значительные вычислительные и энергетические ресурсы для добавления блоков в реестр. Такой подход усложняет злоумышленникам задачу принудительного создания неточного реестра, поскольку им потребуется накопить большое количество вычислительных ресурсов и затратить значительное количество энергии для достижения консенсуса. Участники, которые отправляют блоки в сеть, называются майнерами. Майнеры заинтересованы в добавлении блоков в реестр консенсуса путем выполнения энергоемких вычислений, поскольку они получают компенсацию в виде вновь созданных криptoактивов за добавление блока в блокчейн и взимают комиссию, связанную с транзакциями внутри блока³⁰. Участники подтверждают действительность новых блоков, добавляя их в реестр блокчейна, а затем сохраняют последние копии реестра. На рис. 1.1 представлен обзор майнинга криptoактивов PoW.

По мере того, как криptoактив становится более ценным, вознаграждение за майнинг также становится более ценным. Это привлекает больше майнеров и вычислительных ресурсов для решения криптографической математической задачи. По мере того как майнеры выделяют все больше вычислительных ресурсов для обработки транзакций в блокчейне, математическая задача усложняется. Благодаря этому среднее время, необходимое для поиска решения, остается приблизительно постоянным⁸. Эта «экономическая модель» PoW означает, что сеть PoW, как правило, будет потреблять больше электроэнергии по мере роста стоимости криptoактива (и сети), пока -актив среди майнеров остается постоянным. Рост общей стоимости криptoактивов привлек тысячи майнеров, которые используют компьютеры и специализированное оборудование, потребляя общее количество электроэнергии, сравнимое со средней страной или крупным мегаполисом.

Наиболее популярной альтернативой энергоемкому механизму консенсуса PoW является PoS, который используется для таких сетей, как Solana, Cardano, предполагаемый Ethereum 2.0 и другие. В PoS участники, называемые валидаторами, обычно «ставят» определенное количество криptoактивов для

возможность быть выбранным для добавления нового блока транзакций в бухгалтерскую книгу. Чем больше криptoактивов ставит валидатор или чем дольше ставка заблокирована, тем выше шанс быть выбранным. Валидаторы, которые публикуют неточные данные или мошеннические транзакции, рисуют потерять свою долю. В механизме консенсуса PoS существуют десятки вариантов; варианты обычно разделяют принцип, согласно которому доверие определяется готовностью участника рисковать своими ценностями криpto-активами. Поскольку валидаторы PoS полагаются на рискованные активы, а не на вычислительную мощность для проверки транзакций, потребление электроэнергии криptoактивами PoS намного ниже, чем криptoактивами PoW, как показано в Таблице А.1 Приложения.

Помимо PoW и PoS, существует множество других типов механизмов консенсуса, включая, помимо прочего, Proof of Capacity и практическую византийскую отказоустойчивость, которые в настоящее время используются существующими криptoактивами, как описано в Таблице А.2.31 Приложения. Помимо электричества использования, существуют и другие проблемы, влияющие на применение криptoактива и его признание рынком, включая масштабируемость, защиту от несанкционированного доступа и фальсификации, пропускную способность, задержку и децентрализацию³². У каждого механизма консенсуса есть сильные и слабые стороны. Сообщество криptoактивов не пришло к соглашению о том, что представляет собой «лучшая практика» для механизмов консенсуса, и могут появиться другие механизмы консенсуса с различными сильными и слабыми сторонами. Ответственное развитие цифровых активов будет способствовать созданию механизмов консенсуса, которые сводят к минимуму потребление энергии и воздействие на окружающую среду при максимальной выгоде для потребителей.

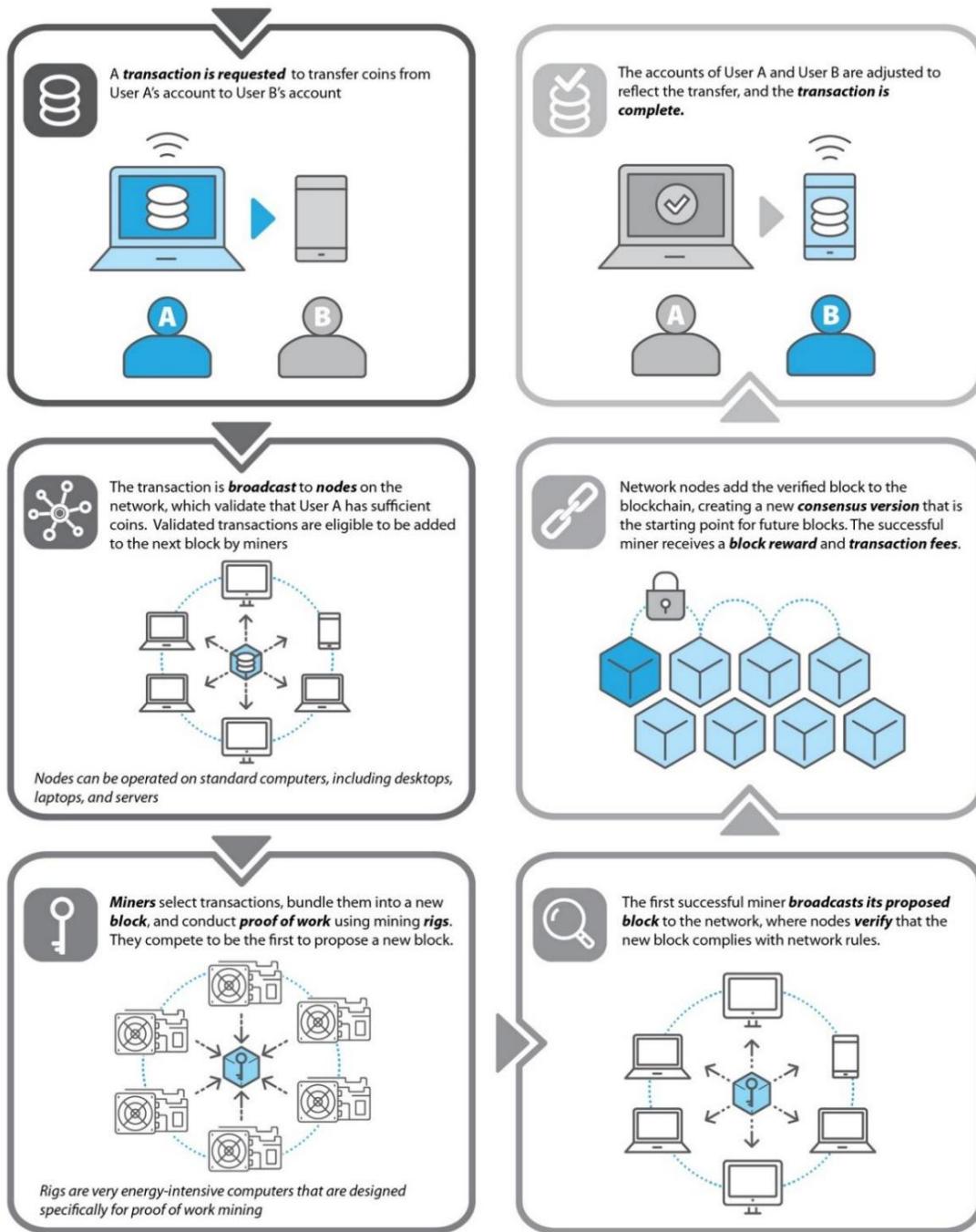


Рисунок 1.1: Понимание блокчейна Proof-of-Work в майнинге крипто-активов. Адаптировано из Kilroy Blockchain.33



2. Криптоактивы влияют на потребление электроэнергии и сетка

Цифровые активы, в том числе криптоактивы, требуют электроэнергии для генерации, владения и обмена.

Сети криптоактивов используют электричество для обеспечения четырех основных функций: хранения данных, вычислений, охлаждения и передачи данных. Из них вычисления используют подавляющее большинство электроэнергии в сетях криптоактивов.³⁴ Поэтому большинство исследований было сосредоточено на оценке потребления электроэнергии вычислительными устройствами, включая дополнительную электроэнергию, необходимую для охлаждения.³⁵ Электричество для охлаждения может добавляться где угодно от низкого процента (для прохладного климата) до более чем 100% электроэнергии, потребляемой самим вычислительным оборудованием.^{36,37,38}

Потребление электроэнергии различается для разных типов криптографии Ресурсы

Масштабы и источники электроэнергии, используемые вычислительными устройствами, зависят от технологии, используемой криптоактивом для обеспечения безопасности и достоверности, или его механизма консенсуса. Для блокчейнов PoS вычислительные задачи могут выполняться компьютерами или серверами общего назначения.

Последние могут быть расположены в обычных центрах обработки данных в сети.³⁹ В блокчейнах PoS эти вычислительные устройства известны как узлы проверки (которые участвуют в согласованных протоколах и создают новые блоки) и полные узлы (которые проверяют транзакции).⁴⁰ Из-за их высокой плотности серверов обычные центры обработки данных требуют дополнительного электричества для охлаждения на месте. Большинство центров обработки данных в Соединенных Штатах покупают электроэнергию из местной сети, хотя некоторые крупные операторы центров обработки данных инвестируют в крупномасштабные проекты по возобновляемым источникам энергии, чтобы компенсировать выбросы местных сетей^{41,42}. То же самое относится и к международным центрам обработки данных, поэтому следы выбросов международных участников блокчейна PoS зависят от местных источников генерации.

Блокчейны PoW также используют узлы общего назначения для проверки транзакций, проверки согласованных протоколов и хранения согласованных копий блокчейна. Однако вычисления для популярных криптоактивов, использующих блокчейны PoW, также выполняются специализированными полупроводниками на основе специализированных интегральных схем (ASIC), содержащихся в «майнинговых установках», которые выполняют вычисления PoW.^{43,44,45} Эти майнинговые установки часто расположены в «горнодобывающих» объектах, которые обычно покупают электроэнергию из сети и могут представлять собой большую местную электрическую нагрузку.⁴⁶ Эти объекты часто покупают электроэнергию по более низким промышленным тарифам, чем те, которые платят бытовые потребители, и иногда они получают специальные экономические стимулы, такие как освобождение от налога на покупку энергии.^{47,48,49}

В качестве альтернативы майнинговые операции PoW могут строить объекты для частичной или полной выработки собственного электричества. Горнодобывающая компания может построить специальную ферму солнечной энергии с накопителем энергии или без него или может установить на месте генераторы, использующие застрявший природный газ⁵⁰. ветряные электростанции, гидроэнергетика и другие источники электроэнергии.

Таблица A.3 в Приложении обобщает оценки количества вычислительных устройств и их типичной потребности в мощности для выбранных сетей PoS и блокчейна PoW в 2021 году^{51,52}. Биткойн-установка ASIC для PoW-майнинга.

Несмотря на то, что по всему миру были выпущены тысячи криptoактивов, опубликованные исследования были сосредоточены на относительно небольшом количестве криptoактивов с высокой рыночной стоимостью. Большинство опубликованных оценок использования электроэнергии криptoактивами сосредоточены на биткойне, который, по оценкам, потребляет больше всего электроэнергии из всех криptoактивов из-за его высокой рыночной стоимости, популярности среди инвесторов и майнеров и энергоемкого механизма консенсуса PoW. Исследователи также оценили потребление электроэнергии для других криpto-активов PoW и PoS с высокой рыночной стоимостью, как показано в Таблице А.1 Приложения.

Общее потребление энергии сегодняшними сетями криptoактивов невозможно контролировать напрямую, потому что многие вычислительные или майнинговые центры не раскрывают свое местоположение и не сообщают об использовании электроэнергии. Однако потребление электроэнергии можно оценить аналитически. Как и все виды использования электроэнергии, потребление электроэнергии криpto-активами измеряется в киловатт-часах (кВтч): использование одного киловатта (кВт) мощности в течение одного часа. Средний дом в США потребляет 10 715 кВт·ч в год, или около 900 кВт·ч в месяц.⁵³ Для справки: все жилое освещение в США потребляет около 59 млрд кВт·ч в год, а общее годовое потребление электроэнергии в США в 2021 г. составило 3 930 млрд кВт·ч.^{54,55}

Общее предполагаемое глобальное потребление электроэнергии для блокчейнов, поддерживающих криptoактивы, в 2022 году находится в диапазоне от 120 до 240 миллиардов кВтч в год.⁵⁶ Это эквивалентно от 0,4% до 0,9% годового глобального потребления электроэнергии.^{57,58} Этот диапазон сопоставим с годовым потреблением электроэнергии всеми обычными (т. е. не криpto-активами) центрами обработки данных в мире, которые потребляли от 200 до 250 миллиардов кВтч в 2020 году⁵⁹. или вниз в ответ на колебания рыночной стоимости, а также по мере внедрения нового оборудования. В результате к 2022 году расчетный диапазон глобального потребления электроэнергии криptoактивами упал со 105 до 178 и вырос со 176 до 305 миллиардов кВтч в год, как показано в Таблице А.1.60 Приложения. 61,62,63,64,65,66,67,68

По состоянию на август 2022 года на два блокчейна PoW приходится подавляющее большинство потребления электроэнергии: по оценкам, на биткойн приходится от 60% до 77%, а на эфириум, по оценкам, приходится от 20% до 39% от общего глобального использования электроэнергии криpto-активами. 69,70,71,72,73 Ежегодное глобальное потребление электроэнергии из блокчейна Биткойн оценивается в 90-145 млрд кВтч с теоретическим диапазоном от 40 до 180 млрд кВтч. Потребление электроэнергии в блокчейне Ethereum оценивается в 23-94 миллиарда кВтч с нижней границей в 16 миллиардов кВтч. Глобальное потребление электроэнергии для проанализированных криpto-активов PoS оценивается менее чем в 0,28 млрд кВтч в год, что составляет менее 0,001% глобального потребления электроэнергии и около 0,25% нижней границы общего глобального использования электроэнергии PoW. Учитывая оценки потребления электроэнергии, большинство дискуссий об использовании электроэнергии криptoактивами были сосредоточены на приложениях PoW, особенно Биткойн^{74, 75}. Растет призыв к блокчейнам PoW использовать менее энергоемкие механизмы консенсуса. Наиболее заметной реакцией стал обещанный Ethereum запуск PoS-блокчейна «Ethereum 2.0».

В настоящее время в Соединенных Штатах находится крупнейшая в мире индустрия майнинга биткойнов, на долю которой приходится около 38% хешрейта глобальной сети биткойнов по состоянию на август 2022 года⁷⁶. Хешрейт — это общая вычислительная мощность, используемая каждую секунду для майнинга и обработки блокчейнов PoW. По мере увеличения количества майнеров в блокчейне PoW становится все сложнее решать криптографические проблемы.

математическая задача, в конечном итоге увеличивающая хешрейт. Если предположить, что потребление биткойн-электроэнергии пропорционально скорости хэширования,⁷⁷ доля Соединенных Штатов в глобальном оценочном потреблении биткойн-электроэнергии по состоянию на 15 августа 2022 года будет находиться в диапазоне от 33 до 55 миллиардов кВтч в год, или от 0,9% до 1,4% от общего потребления электроэнергии в США в 2021 году⁷⁸. Если также принять во внимание долю США в мировом майнинге Эфириума, потребление электроэнергии при майнинге PoW в США возрастает с 36 до 66 миллиардов кВтч в год, или от 0,9% до 1,7% от общего годового потребления электроэнергии в США (см. Таблицу А. 1). Это делает потребление электроэнергии для майнинга PoW в США сопоставимым с потреблением электроэнергии всеми обычными центрами обработки данных (т. е. не связанными с криптоактивами) США, которое по последним оценкам составляет 72 миллиарда кВтч в год⁷⁹.

Рисунок 2.1 демонстрирует, что потребление электроэнергии криптоактивами также аналогично потреблению электроэнергии для некоторых стран, штатов или критически важных энергетических служб.

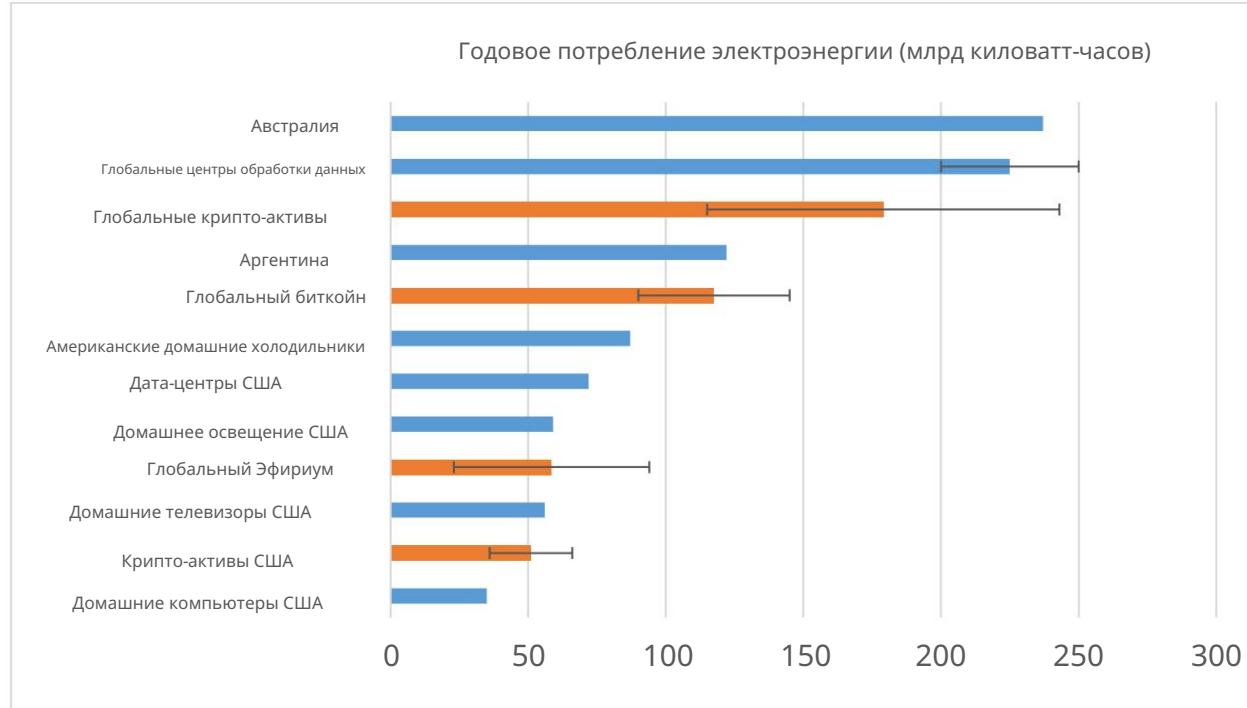


Рисунок 2.1: Сравнение годового использования электроэнергии в нескольких примерах и наилучших оценок для криптоактивов по состоянию на август 2022 г. с планками погрешностей, представляющими лучший диапазон значений.^{80,81}

Учитывая различия в методологиях и данных, к которым применяются существующие оценки потребления электроэнергии, оценки электроэнергии следует интерпретировать с осторожностью. Предполагаемое потребление электроэнергии блокчейном Биткойн неуклонно росло по мере роста рыночной стоимости Биткойна и хешрейта сети — условия, которые могут возникать для других блокчейнов PoW, поддерживающих криптоактивы.

Кроме того, различия между верхними и нижними оценками со временем увеличились, отражая неопределенность в отношении типов майнинговых установок, которые могут быть прибыльно развернуты, когда криптоактивы имеют более высокую рыночную стоимость. В то время как большие диапазоны могут дать политикам представление о том, насколько большим может быть потребление электроэнергии PoW, они также предполагают, что майнерам необходимо сообщать о фактическом использовании электроэнергии, чтобы уменьшить неопределенность. Кроме того, для исследований временных рядов расчетное ежедневное энергопотребление может варьироваться⁸² из-за колебаний рыночной стоимости криптоактивов. Динамика рынка может быстро сделать любую опубликованную оценку устаревшей.

Сравнение с другими финансовыми операциями

Криptoактивы могут использоваться для инвестиций или спекулятивных целей, в качестве платежного средства или средства сбережения. В то время как транзакция по кредитной карте учитывает только один платеж между сторонами, несколько биткойн-транзакций могут быть объединены в одну «сетевую» транзакцию, которая может объединять различные виды финансовой деятельности в одну опубликованную транзакцию в блокчейне. Например, когда кто-то покупает или продает биткойны или покупает кофе за биткойны, каждый из них записывается как перевод биткойнов с одного адреса на другой, и запись об этом переводе добавляется в следующий блок вместе с другими транзакциями. Блок в блокчейне Биткойн обычно содержит 1000–2000 транзакций, причем количество транзакций на блок меняется ежедневно.⁸³ Среднее время решения математической задачи PoW и записи блока Биткойн в бухгалтерскую книгу составляет около 10 минут, поэтому добавляется в блокчейн Биткойн в год.

Текущее глобальное потребление электроэнергии Биткойном составляет от 90 до 140 миллиардов кВтч в год. Для этого требуется от 1,7 до 2,7 миллионов кВтч на блок, которые можно дополнительно разделить для оценки кВтч на транзакцию в цепочке. Это только приблизительная оценка. С биткойнами, как и с другими транзакциями криptoактивов, централизованные торговые платформы криptoактивов обычно используют транзакции вне сети и используют транзакции в цепочке для определенных действий, например, при отправке криptoактивов участнику за пределами платформы. В результате платформы криptoактивов отправляют в блокчейн только часть транзакций, а потребление электроэнергии вне сети вряд ли будет отражено в оценках. Подобные факторы создают проблемы при оценке фактического общего потребления электроэнергии на транзакцию по сравнению с другими финансовыми услугами.

Общее количество транзакций с криptoактивами в сети в настоящее время невелико по сравнению с традиционными финансовыми услугами. В 2020 году на Биткойн и Эфириум вместе приходилось примерно 460 миллионов зарегистрированных транзакций в сети.^{84,85} В том же году Visa, MasterCard и American Express в совокупности обработали около 310 миллиардов платежных транзакций по кредитным картам.⁸⁶ DLT, включая Биткойн и Эфириум, блокчейны, представляют собой полные платежные системы и позволяют проводить валовые расчеты между сторонами в режиме реального времени. Для сравнения, продавцы кредитных карт нуждаются в официальных банковских отношениях для расчетов по транзакциям, потому что транзакция только разрешает платеж, а не расчеты по платежам. По этой причине существует фундаментальное различие между транзакцией цифровых активов и транзакцией по кредитной карте.

Отметив, что прямые сравнения сложны, Visa, MasterCard и American Express в совокупности сообщили о потреблении электроэнергии в размере около 0,5 млрд кВтч в 2020 г.,⁸⁷ включая все операции, помимо электронных платежей.^{88,89,90} Другими словами, эти три организации потребляли менее 1% электроэнергии, которую Биткойн и Эфириум использовали в том же году⁹¹, несмотря на многократную переработку количества транзакций в сети и поддержку их более широких корпоративных операций. Ответственное развитие цифровых активов включает в себя обеспечение операций со значительно более низкой энергоемкостью по мере внедрения цифровых активов.

Майнинг криptoактивов может повлиять на потребителей электроэнергии и сеть

Электроэнергетическая система является критически важной инфраструктурой для здоровья человека, экономики и национальной безопасности США. Это также основа будущей экономики экологически чистой энергии в США, поскольку электрификация будет все больше вытеснять автомобили, здания и некоторые промышленные процессы, работающие на ископаемом топливе. Объединенный

Государствам необходимо будет ускорить электрификацию конечных пользователей, чтобы достичь климатических целей. 2020-е годы станут решающим десятилетием для борьбы с изменением климата в Соединенных Штатах, и каждый год необходимо добавлять в энергосистему до 100 ГВт мощностей чистой электроэнергии, чтобы удовлетворить спрос этих недавно электрифицированных конечных пользователей⁹². инфраструктура находится под нагрузкой из-за сегодняшних потребностей и экстремальных погодных явлений, вызванных климатом,⁹³ и требует масштабных реинвестиций. За последние шесть лет произошло в два раза больше отключений электроэнергии по сравнению с предыдущими шестью годами, и надежность должна повыситься, чтобы удовлетворить новые потребности в электроэнергии⁹⁴. выдерживать более высокие температуры, более сильные ураганы и другие экстремальные условия, усугубляемые изменением климата, которые нагружают энергосистему и могут сократить объем электроэнергии, предоставляемой потребителям, когда она больше всего нужна⁹⁵. Соединенным Штатам требуется надежный, доступный, чистый, справедливый и климатическая система электроснабжения. Новые требования к системе должны помочь, а не помешать достижению климатических целей нашей страны.

В большинстве электросетей возобновляемые источники энергии с низкими затратами на топливо и атомные электростанции отправляются в первую очередь для удовлетворения электрических нагрузок. Гибкие ресурсы с более высокой стоимостью топлива, такие как электростанции, работающие на природном газе или угле, затем направляются в соответствии с колебаниями нагрузки в течение дня. По мере увеличения спроса на электроэнергию в результате майнинга криптоактивов операторы энергосистем направляют больше электростанций, работающих на природном газе и угле. Эти электростанции, как правило, стоят дороже и загрязняют окружающую среду больше, чем электроэнергия в среднем по сети, при этом разница между средними выбросами и предельными выбросами увеличивается⁹⁶.

Операции по добыче криптоактивов обычно имеют высокие коэффициенты нагрузки: они потребляют энергию почти постоянно. Когда эти объекты продолжают работать в периоды пикового спроса, они создают нагрузку на инфраструктуру электроснабжения, что может повлиять на срок службы оборудования, вызвать отключение электроэнергии для других клиентов и создать опасность пожара . - добывчиков активов для возмещения дополнительных затрат, связанных с удовлетворением спроса на электроэнергию за счет майнинга.⁹⁸ Район коммунальных услуг округа Бентон, штат Вашингтон, также принял политику в отношении клиентов криптоактивов, сославшись на опасения по поводу безопасности и надежности системы распределения⁹⁹.

Повышенный спрос на электроэнергию в результате майнинга криптоактивов также может привести к росту цен на электроэнергию для местных потребителей. Добыча криптоактивов в северной части штата Нью-Йорк увеличила ежегодные счета за электроэнергию для домашних хозяйств на 82 доллара, а ежегодные счета за электроэнергию для малого бизнеса — на 164 доллара, при этом чистые общие убытки от местных потребителей и предприятий оцениваются в 179 миллионов долларов в период с 2016 по 2018 год¹⁰⁰ . В 2018 году муниципальная власть Нью-Йорка в 2018 году власти ввели новый тариф на обработку больших объемов данных для криптоактивов, чтобы повысить стоимость майнинга.¹⁰¹ Платтсбург, штат Нью-Йорк, ввел 18-месячный мораторий на майнинг после того, как члены сообщества и предприятия пожаловались на высокие счета за электроэнергию и шум. . Добыча полезных ископаемых также может привести к перекладыванию затрат на местных потребителей электроэнергии, которые будут нести риск, если операции по добыче полезных ископаемых переместятся в другие места при изменении условий. Это может привести к тому, что местным клиентам придется платить за бесплатную модернизацию инфраструктуры для операций по добыче полезных ископаемых.

Многие майнеры криптоактивов перенесли свои операции в Техас. Совет по надежности электроснабжения Техаса (ERCOT) является оператором энергосистемы для большей части Техаса, и его пиковый летний спрос на электроэнергию составляет около 76 гигаватт (ГВт), а текущая активность по добыче криптоактивов составляет около 2 ГВт. ERCOT имеет около 17 ГВт объектов криптоактивов, которые находятся в процессе подключения к сети, с ожидаемым спросом на 5-6 ГВт в ближайшие 12-15 месяцев.

(эквивалентно энергопотреблению города Хьюстон). ERCOT также может получить дополнительные 25 ГВт в течение следующего десятилетия.¹⁰² Хотя многие из этих проектов могут не быть завершены, перспектива до 25 ГВт нового спроса на электроэнергию от майнинга криптоактивов, что эквивалентно трети существующего пикового спроса на электроэнергию в Техасе — создает потенциальные проблемы для поддержания надежности электроснабжения, особенно в связи с растущим спросом на электроэнергию и экстремальными температурами в последние годы.

Операции по добыче криптоактивов могут быстро уменьшить количество потребляемой электроэнергии за счет сокращения или отключения майнинговых установок. Биткойн-майнеры могут участвовать в программах коммунальных служб и операторов сетей, которые платят крупным потребителям электроэнергии за снижение потребления в периоды пиковой нагрузки на сеть или за баланс спроса и предложения — процесс, называемый реакцией на спрос. 11 июля 2022 г. из-за высоких температур и высокого прогнозируемого спроса на электроэнергию ERCOT объявила о чрезвычайной ситуации в сети, и, как сообщается, майнеры биткойнов, использующие 1 ГВт мощности, ответили на запрос ERCOT по реагированию на спрос и сократили потребление мощности майнинга.¹⁰³ В течение всего июля 2022 г. один публично торгуемый биткойн-майнер, управляющий предприятием в Техасе, заработал 9,5 млн долларов от программы реагирования на спрос в энергосистеме Техаса, что превышает стоимость 318 биткойнов, добытых предприятием за тот же месяц.¹⁰⁴ Гибкий спрос на электроэнергию, быстрый спрос реагирования и предоставление вспомогательных услуг по электроснабжению являются неотъемлемыми атрибутами обезуглероженной электросети, состоящей из переменного возобновляемого электричества, такого как ветер и солнечная энергия. Гибкость майнинга криптоактивов для увеличения и уменьшения может способствовать этим необходимым службам быстрого реагирования. Увеличение спроса на электроэнергию в результате майнинга криптоактивов также увеличивает общий пиковый уровень спроса на электроэнергию. Хотя снижение этого пика во время чрезвычайной ситуации в сети является ценным, увеличение пика часто является причиной необходимости реагирования на спрос, создавая несогласованные стимулы между майнерами криптоактивов и операторами сети. Полная прозрачность участия в реагировании на спрос и платежей со стороны майнеров криптоактивов и других участников реагирования на спрос, существенный. Прозрачность снижает стимулы для погони за рентой и азартных игр, защищает местных потребителей электроэнергии и может повысить надежность электроснабжения.¹⁰⁵

На международном уровне законодательство и нормативные акты направлены на решение экологических проблем, связанных с деятельностью криптоактивов. Принятое Европейской комиссией законодательство о рынках криптоактивов, скорее всего, потребует увеличения объема информации о воздействии на окружающую среду и климат и введения в течение двух лет обязательных минимальных стандартов устойчивости для механизмов консенсуса.¹⁰⁶ В Китае несовместимость крупномасштабного майнинга биткойнов с экологические цели страны были названы одной из нескольких причин, по которой правительство запретило операции с криптоактивами в 2021.¹⁰⁷

Будущие прогнозы использования электроэнергии криптоактивами Неуверенный

Прогнозы энергопотребления оцениваются с помощью моделей энергетических систем, которые отражают взаимосвязь между спросом на услуги, технологической эффективностью, вариантами энергоснабжения и ценами, а также изменениями макроэкономических факторов, таких как численность населения и экономическая производительность, с течением времени.¹⁰⁸ Неадекватно представляют цифровые технологии, такие как центры обработки данных и телекоммуникационные сети, не говоря уже о сетях криптоактивов и блокчейнов. Это хорошо известный пробел в моделировании, который препятствует надежным прогнозам энергопотребления для цифровых систем.¹⁰⁹ Будущие прогнозы, определяемые другими методами оценки, требуют

прогнозирование хешрейта сети и прибыльной эффективности майнинговых установок, которые тесно взаимосвязаны и в дальнейшем зависят от рыночной стоимости криптоактива и преобладающих цен на электроэнергию.

Также существует значительная неопределенность в отношении количества криптоактивов, которые появятся, насколько они станут популярными и какие механизмы консенсуса они примут. Все эти факторы будут влиять на спрос на электроэнергию. Риски, связанные с ростом PoS или другой менее энергоемкой сети, значительно ниже, чем риски, связанные с ростом сети PoW.

На рис. 2.2 показаны исторические тенденции рыночной стоимости и хешрейта сети Биткойн в период с 1 августа 2016 г. по 24 августа 2022 г. стоимость и хешрейт сети не наблюдались при текущем падении рыночной стоимости, которое началось в конце 2021 года. Таким образом, прогнозы будущих хешрейтов сети на основе прогнозируемых рыночных стоимостей монет сопряжены со значительной неопределенностью. Следует избегать экстраполяции текущих условий на будущее, поскольку эти неопределенности и ключевые системные переменные могут измениться. В прошлом простая экстраполяция часто давала нереалистичные прогнозы энергопотребления для сложных и развивающихся систем информационных технологий, таких как те, которые включают блокчейны.¹¹¹

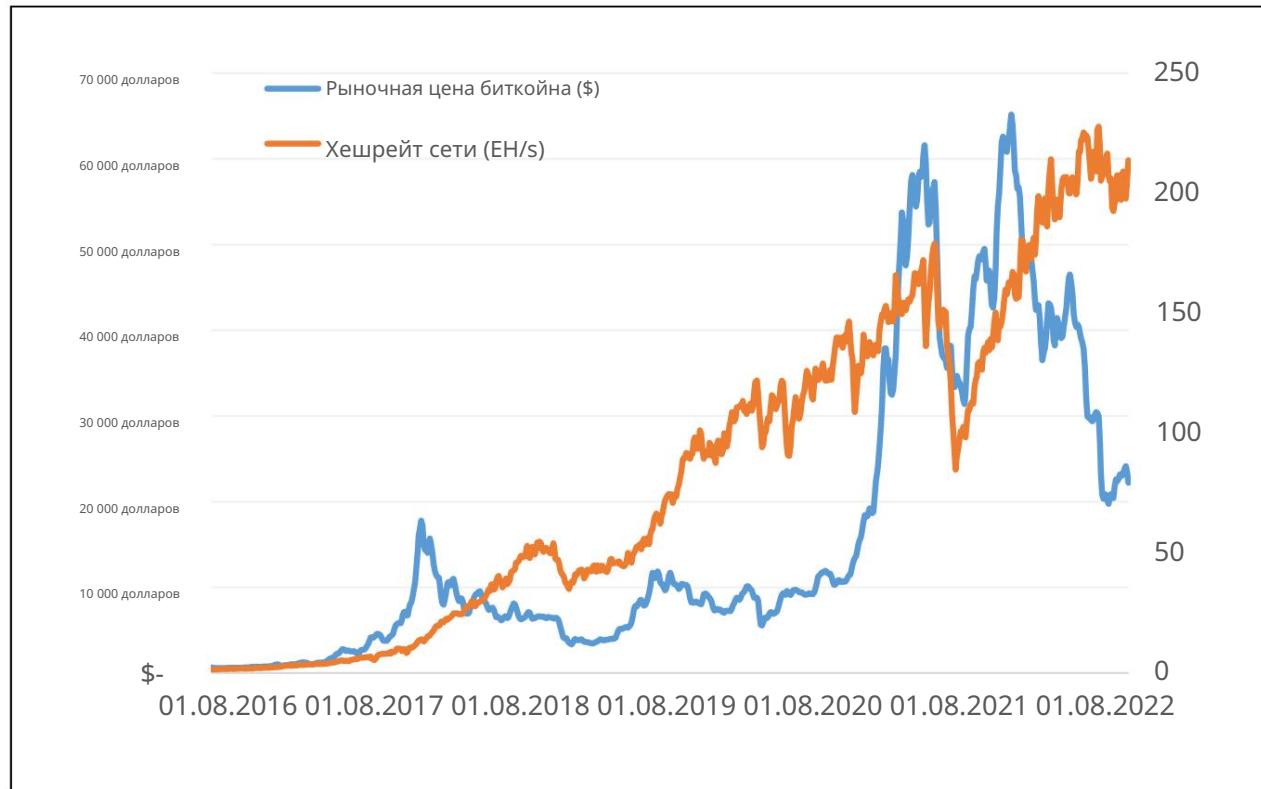


Рисунок 2.2: Исторические тенденции рыночной стоимости биткойнов и хешрейта сети (Exahash/сек)¹¹²

В период с августа 2016 г. по июль 2022 г. средняя расчетная энергоемкость развернутой буровой установки снизилась примерно на 85 % благодаря повышению эффективности вычислений^{113,114}.

за определенный период времени хешрейт сети увеличился более чем на 14000%, что привело к увеличению расчетного потребления электроэнергии в сети на 2000%.¹¹⁵ Это увеличение показывает, как исторически повышение эффективности майнинговых установок сводилось на нет ростом хешрейта по мере усиления конкуренции в майнинге. Однако будущая взаимосвязь между хешрейтом сети и эффективностью развернутой майнинговой установки неясна. Это связано с неизвестным потенциалом повышения эффективности вычислений для майнинговых установок и, для некоторых криpto-активов, таких как Биткойн, с тем, как будущие сокращения вознаграждения за майнинг влияют на стимулы майнинга, что может ограничить рост потребления электроэнергии Биткойн. Эти неопределенности и возможность быстрого роста использования электроэнергии криptoактивами демонстрируют необходимость получения более качественных данных для понимания и мониторинга использования электроэнергии криptoактивами.



3. Криптоактивы приводят к выбросам парниковых газов и другим воздействиям на окружающую среду

Добыча крипто-активов с использованием электроэнергии, вырабатываемой в сети

Выбросы парниковых газов — если горнодобывающая промышленность не использует чистые Энергия

Добыча криптоактивов приводит к выбросам парниковых газов и усугубляет изменение климата, главным образом, за счет сжигания угля, природного газа или других ископаемых видов топлива для выработки электроэнергии на 1) специальной электростанции на территории, 2) покупке электроэнергии из энергосистемы и/или 3) производстве и утилизации компьютеров и инфраструктуры для добычи полезных ископаемых, а также производство топлива для электростанций и инфраструктуры. Эти три категории соответствуют областям 1, 2 и 3 Протокола по парниковым газам, 116 являющегося добровольным отраслевым стандартом.

Текущие оценки выбросов углекислого газа (CO₂) от майнинга криптоактивов в 2022 году составляют от 110 до 170 (или 140 ± 30) миллионов метрических тонн в мире и примерно от 25 до 50 миллионов метрических тонн в США.^{117,118,119} Это составляет 0,2% . до 0,3% глобальных выбросов и от 0,4% до 0,8% выбросов США соответственно. Оценка выбросов от криптоактивов сложна; следовательно, оценки неопределенны.

Поскольку потребление электроэнергии при майнинге криптоактивов может быстро колебаться, а доля майнинга стран колеблется в зависимости от цен и активности, связанные с этим выбросы парниковых газов также колеблются. Используя экономические и географические оценки деятельности по добыче полезных ископаемых, а также данные об интенсивности производства электроэнергии по выбросам парниковых газов на уровне страны, исследователи оценили диапазоны выбросов парниковых газов, связанных с основными крипто-активами.^{120,121}

Глобальные выбросы при майнинге криптоактивов со скоростью 140 Мт CO₂/год превышают выбросы многих отдельных стран и эквивалентны глобальным выбросам всех барж, танкеров и других судов на внутренних водных путях.¹²² Только биткойн генерирует примерно две трети глобальных выбросов парниковых газов от криптоактивов .^{130,131,132} увеличившись примерно в 10 раз за пять лет.

Оценки глобального энергетического баланса, используемого для майнинга криптоактивов, различались из-за меняющихся мест добычи полезных ископаемых и годовых циклов потока воды, которые влияют на выработку гидроэлектроэнергии. С сентября 2019 г. по август 2021 г. в среднем 30% электроэнергии, используемой Биткойном, поступало из гидроэлектростанций, солнечной энергии, ветра и других возобновляемых источников.¹³³ В этот период гидроэнергетика в Китае обеспечивала большую часть возобновляемой электроэнергии для Биткойна. После запрета Китая на добычу криптоактивов в сентябре 2021 года возобновляемая энергия, используемая для биткойнов, сократилась. Следовательно, расчетная средняя углеродоемкость электроэнергии, используемой для майнинга биткойнов, увеличилась с 480 до 570 граммов CO₂ на киловатт-час с 2018 по 2021 год¹³⁴.

Интенсивность выбросов ПГ при производстве электроэнергии в США снизилась более чем на 33% с 2005 г., при этом средний уровень выбросов ПГ в электроэнергетике в 2020 г. составил 373 г/кВтч¹³⁵.

уровень выбросов ниже уровня выбросов электростанций, работающих на природном газе (412 г/кВтч), и примерно на 63 % ниже, чем у угольных электростанций США (1011 г/кВтч).¹³⁶ Около 61 % производства электроэнергии в США в 2021 г. приходилось на ископаемое топливо (38% природный газ, 22% уголь, 1,3% прочее). Остальные 39 % электроэнергии в США вырабатываются за счет атомной энергии (18,9%) и возобновляемых источников энергии (9,2% ветра, 6,3% гидроэнергетики, 2,8% солнечной энергии, 1,3% биомассы и 0,4% геотермальной энергии)¹³⁷. Спрос на электроэнергию в Соединенных Штатах удовлетворяется электростанциями, энергоаккумуляторами и инструментами управления сетью, увеличивая или уменьшая количество доступной электроэнергии по мере изменения потребительского спроса.

Региональные операторы энергосистем, которые часто разбросаны по нескольким штатам, обычно уравновешивают спрос и предложение электроэнергии и торгуют электроэнергией с соседними сетевыми операторами.^{138,139} Авторитетным и доступным источником информации о региональных выбросах электроэнергии является Интегрированная база данных о выбросах и генерирующих ресурсах (eGRID).¹⁴⁰ Выбросы ПГ от производства электроэнергии варьируются в зависимости от региона. Углеродоемкость центральной части Великих равнин составляет около 700 г/кВт·ч из-за относительно большого количества угольной энергии, производящей почти в три раза больше выбросов CO₂-эквивалента на кВт·ч электроэнергии без базовой нагрузки, чем в Калифорнии (234 г/кВт·ч). Все это средние уровни выбросов, и новый спрос на электроэнергию со стороны криптоактивов влияет на источники, используемые для производства электроэнергии, как в краткосрочной перспективе, обычно требующей использования коэффициентов выбросов не базовой нагрузки, так и в долгосрочной перспективе, поскольку состав сети изменяется.

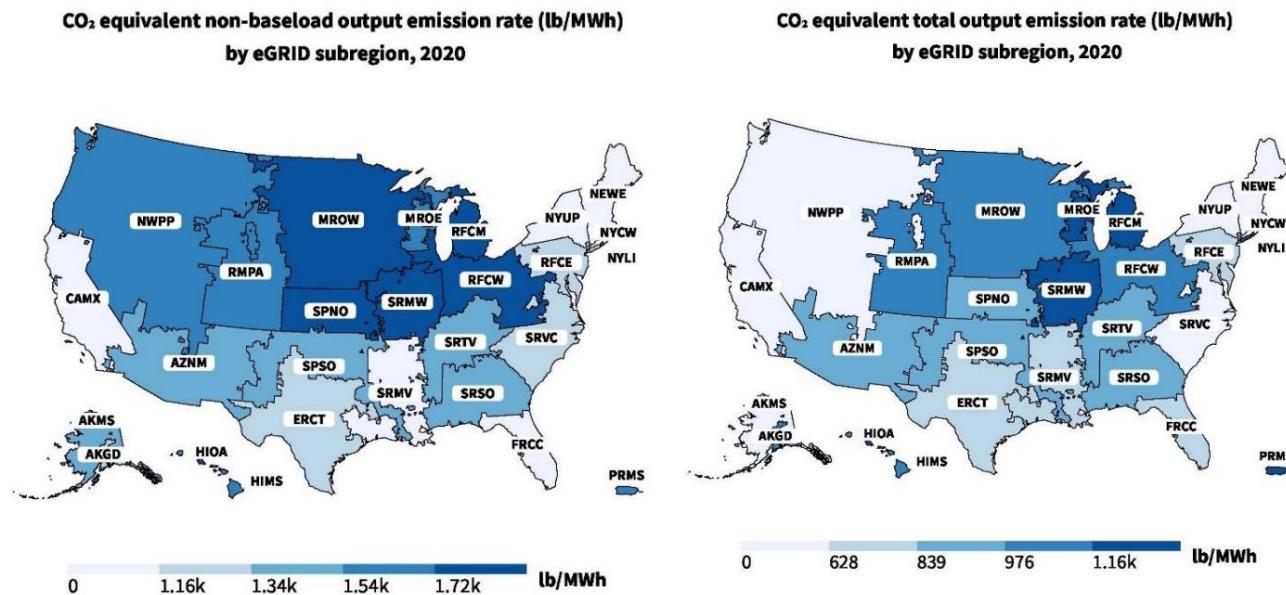


Рисунок 3.1. Интенсивность электроэнергии по выбросам парниковых газов в США варьируется в зависимости от региона как для электроэнергии без базовой нагрузки (слева), так и для средней электроэнергии (справа).¹⁴¹

Согласно опубликованному исследованию, в 2021 году при производстве электроэнергии в США для майнинга криптоактивов с наибольшей рыночной капитализацией (биткойн, эфириум и доджкоин) выбросы парниковых газов составляли примерно 15 млн тонн CO₂ в год.¹⁴² Один год выбросов парниковых газов крипто-активами в США при таком уровне эквивалентен годовому выбросу от более чем 3 миллионов автомобилей с бензиновым двигателем за год.

год среднего путешествия по США.143 С тех пор активность майнинга крипто-активов увеличилась в Соединенных Штатах, на которые в настоящее время приходится более трети мировой активности биткойнов.

Потребление электроэнергии в США для майнинга биткойнов увеличилось с 8 до 11 миллиардов кВтч в начале 2021 года до 33–55 миллиардов кВтч в середине 2022 года. будет генерировать около 21

до 35 млн т CO₂/год. Чтобы дать представление о том, как региональное сочетание электроэнергии в США влияет на выбросы парниковых газов, скажем, что если весь майнинг криптоактивов в США для двух крупнейших криптоактивов (Биткойн и Эфириум) происходил с темпами 2022 года в одном субрегионе США eGRID, в среднем 42 миллиарда кВтч/год электроэнергии будет генерировать выбросы парниковых газов в диапазоне от 17 млн тонн CO₂/год в северной части штата Нью-Йорк до 38 млн тонн CO₂/год в центральной части Великих равнин. Если принять во внимание долю США в общей глобальной активности криптоактивов, оценки выбросов колеблются от 25 до 50 Mt CO₂/год. Если использовать средние уровни выбросов вместо показателей без базовой нагрузки, выбросы будут ниже примерно вдвое. По мере обезуглероживания сети средняя интенсивность выбросов электроэнергии будет продолжать снижаться. Неопределенность в оценках выбросов парниковых газов от криптоактивов и потенциал для будущего роста являются причинами получения более качественных и своевременных данных от заинтересованных сторон об использовании электроэнергии и выбросах.

В Монтане,145,146 Нью-Йорке,147 Пенсильвании,148 Индиане,149,150,151 и других местах средства массовой информации сообщали о случаях, когда компании, занимающиеся криптовалютой, отменяли планы закрытия электростанций, работающих на ископаемом топливе, или перезапускали ранее закрытые электростанции.152,153 Перезапуск угольных и других заводов, работающие на ископаемом топливе, частично подрывают прогресс, достигнутый Соединенными Штатами в сокращении выбросов парниковых газов.154,155

Помимо выбросов от производства электроэнергии, объем выбросов 3 операций с криптоактивами включает выбросы парниковых газов при производстве, транспортировке, обслуживании и утилизации в течение жизненного цикла компьютеров, зданий, автомобилей и другого оборудования. Добыча полезных ископаемых и производство стали и других материалов для компьютерного оборудования также являются выбросами парниковых газов, но большая часть выбросов, связанных с криптоактивами, связана с производством электроэнергии для запуска криптоактивов, что составляет от 79% до 99% выбросов в течение жизненного цикла^{156,157}.

Индустрис криптоактивов потенциально может использовать застрявший метан, который является основным компонентом природного газа, для выработки электроэнергии для майнинга. Метан образуется при бурении и транспортировке природного газа, а также при бурении нефтяных скважин, на свалках, при очистке сточных вод и в сельскохозяйственных процессах. Метан является мощным парниковым газом, который может привести к глобальному потеплению в 27–30 раз по сравнению с CO₂ в течение 100 лет и примерно в 80 раз мощнее, чем CO₂. В течение 20 лет.¹⁵⁸ Сокращение выбросов метана может замедлить краткосрочное потепление климата, поэтому администрация Байдена-Харриса опубликовала план действий США по сокращению выбросов метана в 2021 году¹⁵⁹.

Выбросывание и сжигание метана в нефтяных и газовых скважинах приводит к выбросам 4% мирового производства метана.¹⁶⁰ В 2021 г. в результате сброса и сжигания метана в факелах было выброшено эквивалент 400 миллионов ¹⁶¹ выбрасывается или ¹⁶² метров³ единиц, что составляет около 0,7% мировых выбросов парниковых газов.¹⁶² Этот метан сжигается в факелах из-за высокой стоимости строительства постоянных трубопроводов или передачи электроэнергии, которые могли бы транспортировать метан или его потенциальное производство электроэнергии из удаленных месторождений нефти и газа.

операций конечным пользователям или из-за высокой стоимости установки оборудования на старых полигонах.

Компании, занимающиеся криптоактивами, в настоящее время изучают способы использования выработки электроэнергии из выбрасываемого и сжигаемого в факелах метана на нефтяных и газовых скважинах и на свалках.

В то время как EPA и Министерство внутренних дел предложили новые правила по сокращению выбросов метана для операций с нефтью и природным газом, операции по добыче криптоактивов, которые улавливают выбрасываемый метан для производства электроэнергии, могут принести положительные результаты для климата, преобразовывая мощный метан в CO₂ во время горения. Добыча полезных ископаемых, которая заменяет существующие факельные сжигания метана, вряд ли повлияет на выбросы CO₂, поскольку в противном случае этот метан сжигался бы в факелах и преобразовывался в CO₂.

Однако добыча полезных ископаемых потенциально может быть более надежной и эффективной при преобразовании метана в CO₂. Хотя такие операции могут сократить потери метана, другим вариантом является низкозатратное извлечение метана с использованием существующих технологий улавливания паров на нефтяных и газовых скважинах, что может сократить глобальные выбросы метана до 50% к 2030 году¹⁶³.

Климатическая политика, ориентированная на достижение нулевого уровня выбросов, будет предусматривать нулевой сброс метана и сжигание метана в факелах. Сочетание регулирования и технологических инноваций может помочь реализовать это видение. Добыча криптоактивов, при которой устанавливается оборудование для использования выбрасываемого метана для выработки электроэнергии для операций, скорее всего, поможет, а не помешает достижению целей США в области климата. Однако, если CO₂ не улавливается и не хранится, использование выбрасываемого метана в нефтяных и газовых скважинах по-прежнему будет приводить к выбросам CO₂ и способствовать изменению климата. Использование выбрасываемого или сжигаемого в факелах метана для добычи криптоактивов также должно быть оценено по сравнению с другими видами использования этого метана, такими как производство водорода или транспортировка метана по трубопроводу к конечным пользователям.

Существует два основных способа, которыми добыча криптоактивов с использованием электроэнергии из сети может привести к нулевым прямым выбросам парниковых газов: 1) строительство или заключение контрактов на новые источники чистой электроэнергии для майнинга или 2) использование существующей возобновляемой электроэнергии, которая в противном случае была бы ограничена сетью.

Когда шахта криптоактивов покупает электроэнергию из существующих возобновляемых источников, она в ближайшей перспективе вытесняет выбросы парниковых газов, переводя пользователей возобновляемых источников на источники ископаемого топлива. Это связано с тем, что уголь и природный газ часто обеспечивают выработку электроэнергии на каждую дополнительную единицу электроэнергии, потребляемую в Соединенных Штатах. Поскольку количество возобновляемых источников остается постоянным, но спрос на электроэнергию увеличивается, скорее всего, будет направляться дополнительная энергия из ископаемых источников .

Если операция с криптоактивами строит или заключает контракты на новые энергетические мощности с нулевым выбросом углерода и сопоставляет как годовое потребление электроэнергии, так и временной профиль с новой выработанной электроэнергией с нулевым выбросом углерода, то прямая деятельность по майнингу будет без выбросов, поскольку шахта использовать все новое поколение с нулевым выбросом углерода, которое оно обеспечивает. Чтобы помочь США в достижении климатических целей, промышленные предприятия могут добровольно или от них потребуется построить энергетические мощности с нулевым выбросом углерода, которые будут производить больше электроэнергии, чем требуется для криптоактивов, продавая излишки чистой энергии обратно в сеть.

В некоторых районах Соединенных Штатов недостаточно спроса или пропускной способности для использования пиковых уровней генерируемых возобновляемых источников энергии, а ветряные или солнечные генераторы временно сокращают или прекращают производство в процессе, называемом сокращением. Это бесполезная возобновляемая электроэнергия, потому что, если бы в это время существовала достаточная пропускная способность или спрос, тогда генераторы производили бы и продавали возобновляемую электроэнергию. В 2019 году было сокращено 2,6% ветровой энергии в Соединенных Штатах, причем наибольшее количество энергии произошло в штатах Великих равнин. В Техасе было сокращено 5% годовой солнечной энергии, а в Калифорнии было сокращено 2,4% солнечной энергии¹⁷².

электроэнергия может обеспечить дополнительный доход разработчикам возобновляемых источников энергии и стимулировать строительство дополнительных мощностей возобновляемых источников энергии. Однако это также может уменьшить финансовые стимулы для строительства линий электропередач от этих возобновляемых источников к существующим пользователям или уменьшить стимулы для хранения излишков возобновляемой электроэнергии для использования, когда спрос выше. Кроме того, майнеры криptoактивов вряд ли будут работать только в периоды отключения, требуя потребления электроэнергии из сети во все остальное время.

Воздействие на окружающую среду включает загрязнение воздуха и воды, Шум и электронные отходы

Для майнинга криptoактивов в основном используется электроэнергия, приобретаемая из сети. Электроэнергия, вырабатываемая на электростанциях для майнинга криptoактивов и для всех видов использования электроэнергии, может нанести ущерб окружающей среде и здоровью человека из-за загрязнения воздуха в результате сжигания ископаемого топлива, водозaborа и загрязнения термальной воды в результате охлаждения электростанций, других загрязнений воды, твердых отходов. от сжигания ископаемого топлива, деградации земель в результате разведки и добычи полезных ископаемых, а также воздействия топливных циклов и строительства электростанций на жизненный цикл.

Добыча криptoактивов вызывает озабоченность по поводу экологической справедливости, поскольку она может создавать непропорционально неблагоприятные последствия для здоровья населения и окружающей среды для цветных сообществ, коренных народов и сообществ с низким доходом.^{173,174} Например, на исконной родине народа онондага в северной части штата Нью-Йорк, Операция по добыче биткойнов возобновила работу ранее закрытой угольной электростанции Greenidge. При поддержке народа онондага Департамент охраны окружающей среды штата Нью-Йорк 30 июня 2022 г. отклонил заявку Greenidge на продление разрешения на эксплуатацию раздела V Закона о чистом воздухе, поскольку оно нарушало закон штата о сокращении выбросов парниковых газов.¹⁷⁵ Ранее перезапуск закрытые угольные электростанции для новых шахт по добыче криptoактивов подрывают некоторые из предыдущих улучшений качества воздуха.

Поскольку недостаточно обслуживаемые сообщества уже обременены загрязнением и недостаточными инвестициями в инфраструктуру, дополнительные последствия майнинга криptoактивов могут создать кумулятивное бремя.

Операции по добыче криptoактивов также влияют на окружающую среду из-за локального шума и воздействия на воду в результате операций по добыче полезных ископаемых, а также из-за загрязнения воздуха и других факторов в результате любого прямого использования электроэнергии, сжигаемой из ископаемого топлива. Как и в центрах обработки данных, группы компьютеров при добыче криptoактивов выделяют значительное количество тепла. Многие предприятия по добыче криptoактивов должны использовать воздушное или жидкостное охлаждение, чтобы поддерживать температуру компьютеров в допустимых диапазонах. В стандартных компьютерных центрах обработки данных для одной типичной стойки с серверами мощностью 10 кВт потребуется около 63 000 галлонов питьевой воды в год для воздушного охлаждения¹⁷⁶ — количество, сравнимое со средним ежегодным потреблением воды в помещении отдельной семьи в США.¹⁷⁷ При жидкостном охлаждении используется — что включает в себя погружение компьютеров в ванну с жидкостью или отвод тепла непосредственно от их вычислительных чипов через замкнутые жидкостные контуры — потребность в воде для объекта может быть существенно снижена.¹⁷⁸

Электричество, получаемое из ископаемых источников, которое напрямую обеспечивает работу горнодобывающих предприятий, также влияет на местную воду. На тепловых электростанциях с традиционными прямоточными системами охлаждения вода забирается из рек или озер, и как процесс забора, так и выбрасываемая обратно в окружающую среду нагретая вода (включая химические вещества, используемые для очистки системы охлаждения) может нанести вред рыбам и диким животным, и может негативно повлиять на отдых и качество воды. Нагретые сточные воды снижают растворимость кислорода в воде, увеличивая скорость метаболизма водных организмов, что еще больше снижает

растворенного кислорода по мере увеличения дыхания. Повышение температуры воды также может способствовать перенаселению организмов, вызывающих цветение водорослей, что приводит к токсичным условиям в местных водотоках. Другое загрязнение воды связано с производством электроэнергии на ископаемом топливе, а также с добычей угля и природного газа для электростанций.

Компьютеры для майнинга с воздушным охлаждением содержат высокоскоростные вентиляторы, которые могут создавать шумовое загрязнение. Несмотря на отсутствие опубликованных научных исследований шума вентиляторов, в многочисленных сообщениях средств массовой информации описывается громкий, раздражающий и почти непрерывный шум, создаваемый вентиляторами в центрах майнинга криптоактивов. потери и сердечно-сосудистые заболевания.¹⁸³ Шум также может снижать стоимость собственности.¹⁸⁴ В целом шумовое загрязнение от промышленности, дорожного движения и аэропортов выше в цветных сообществах и других малообеспеченных слоях населения.¹⁸⁵

Наконец, выброшенные компьютеры, печатные платы, кабели и другие электронные отходы, образующиеся в результате добычи криптоактивов, попадают в электронные отходы. Без стандартов и соблюдения надлежащих методов утилизации электронные отходы могут вызывать загрязнение воздуха и воды, подвергать рабочих воздействию токсичных веществ и наносить ущерб здоровью населения. Свинец и ртуть являются наиболее распространенными токсичными элементами в электронных отходах.¹⁸⁶ Кроме того, выбрасываются ценные элементы, в том числе кобальт, индий и золото, что препятствует ценной переработке и возможностям безотходной экономики. В мае 2021 г. в результате майнинга биткойнов образовались электронные отходы примерно в 31 000 тонн в год¹⁸⁷, увеличившись к июню 2022 г. до 35 000 тонн в год,¹⁸⁸ что эквивалентно ежегодному образованию электронных отходов в Нидерландах¹⁸⁹. ASIC, выделенные компьютерные блоки для обработки криптоактивов PoW, представляют собой темп инноваций, который может удваивать скорость обработки компьютеров каждые полтора года.¹⁹⁰ В настоящее время ASIC нельзя использовать для каких-либо других целей, поэтому компании часто выбрасывают, продают, или сократить использование ASIC более старых поколений примерно через год и четыре месяца.¹⁹¹ Это короче, чем стандартные серверы центра обработки данных, которые служат от трех до пяти лет.¹⁹²

Электронные отходы можно уменьшить, используя сертифицированных переработчиков электроники.¹⁹³ В настоящее время существует два аккредитованных стандарта сертификации: Стандарт ответственной переработки для переработчиков электроники и Стандарт ответственной переработки и повторного использования электронного оборудования e-Stewards. Обе программы сертификации продвигают передовые методы управления и основаны на строгих экологических стандартах, которые максимизируют повторное использование и переработку, минимизируют опасность для здоровья человека и окружающей среды, обеспечивают безопасное обращение с материалами последующими переработчиками и требуют уничтожения всех данных об использованной электронике. Переработка электронных отходов дает возможность восстановить критически важные минералы, а также сократить выбросы парниковых газов и ограничить их утилизацию. Когда повторное использование или переработка невозможны, ответственная утилизация электронных отходов включает в себя точную характеристику отходов и их отправку в соответствующие разрешенные места утилизации.



4. Новые технологии цифровых активов могут поддерживать мониторинг климата или смягчение его последствий

Исполнительный указ 14067 призывает к обсуждению потенциального использования блокчейна, который может поддерживать технологии для мониторинга или смягчения воздействия на климат. Ответственное развитие блокчейна и DLT будет стимулировать инновации в приложениях, снижая при этом энергоемкость, сводя к минимуму общий ущерб окружающей среде, повышая экологическую справедливость и помогая Соединенным Штатам выполнять свои обязательства в отношении климата. В этом разделе представлены некоторые потенциальные приложения в этой области, а также возможности для дальнейших инноваций.

Блокчейны и распределенные реестры в окружающей среде РЫНКИ

Как правило, экологические рынки используют рыночные подходы к устранению негативных внешних эффектов, которые возникают, когда потребление или производство причиняет вред третьей стороне или причиняет ущерб. При потреблении или деградации экологических и природных ресурсов отрицательные внешние эффекты включают загрязнение воды и воздуха, снижение биоразнообразия, изменение климата, угрозы экосистемам и экономические последствия. Эти негативные воздействия могут быть неопределенными по своему масштабу и срокам, могут проявляться в течение многих лет, и их может быть трудно учесть с помощью традиционных показателей бухгалтерского учета.¹⁹⁴ Ключевым приоритетом этой администрации является эффективное устранение негативных внешних последствий климата и другого загрязнения окружающей среды в сообществах, которые уже перегружены и недостаточно обслуживаются¹⁹⁵.

Углеродные рынки нацелены на сокращение выбросов ПГ путем торговли и использования углеродных разрешений и/ или углеродных кредитов. Углеродная надбавка — это торгуемый инструмент, который разрешает источнику выбрасывать установленное количество парниковых газов (например, одну метрическую тонну CO₂) в соответствии с программой регулирования. Углеродный кредит — это торгуемый инструмент, представляющий одну метрическую тонну парниковых газов, сокращенных или удаленных из атмосферы. Рынки регулирования, также известные как «рынки соответствия», обычно представляли собой программы «ограничения и торговли».¹⁹⁶ Создание разрешений, а также ограничение, которое может быть снижено, обеспечивают путь к снижению выбросов из регулируемых источников. Некоторые рынки соответствия позволяют регулируемым организациям использовать углеродные кредиты в ограниченных количествах в качестве дополнения к квотам, но рынки углеродных кредитов также могут существовать вне регулирования. Они известны как добровольные углеродные рынки (VCM). В настоящее время основной движущей силой спроса в VCM являются корпорации, которые стремятся выполнить добровольные обязательства по нейтральному климату или другие обязательства корпоративной устойчивости.

Как и в случае с другими рынками, экологические рынки зависят от надежной рыночной инфраструктуры, которая позволяет участникам рынка совершать сделки с уверенностью. Надежная рыночная инфраструктура должна включать механизмы исполнения сделок; платежи, клиринг и расчеты; Бухучет, ведение учета, делопроизводство; и безопасность. Углеродные рынки созданы для того, чтобы можно было доверять углеродным квотам и кредитам для достижения обещанных сокращений выбросов и климатических целей.

Блокчейн и DLT могут сыграть свою роль в улучшении рыночной инфраструктуры для ряда рынков, включая экологические рынки. Обоснование замены существующих технологий рыночной инфраструктуры DLT будет зависеть от контекста на конкретных рынках, включая затраты на переключение. В частности, на экологических рынках те, кто предлагает внедрить DLT, должны убедиться, что экологические преимущества очевидны по сравнению с воздействием на окружающую среду существующих технологий рыночной инфраструктуры. Сторонники TPP также должны убедиться, что воздействие TPP на окружающую среду не сводит на нет преимущества связанных с ними экологических рыночных продуктов.

На сегодняшний день администраторы рынков соответствия не приняли блокчейн или DLT. Центральный орган регулирует и контролирует процесс выдачи и отказа от разрешений на выбросы углерода. Застрахованные организации имеют нормативные требования для обеспечения достоверности отчетности о выбросах и достижения сокращения выбросов. DLT предназначены для решения проблем децентрализации. Поскольку рынки соответствия централизованы, у DLT может не быть очевидных преимуществ на рынках соответствия.

В VCM появляются некоторые виды использования DLT, хотя пока не ясно, отражают ли они улучшение существующей рыночной инфраструктуры. Важно отметить, что некоторые заинтересованные стороны выразили обеспокоенность по поводу того, что существующие углеродные кредиты могут не обеспечивать дополнительное постоянное сокращение выбросов парниковых газов. Учреждения и участники рынка должны обеспечить, чтобы кредитообразующие проекты приводили к сокращению или устранили выбросов. Схема, основанная на блокчейне, может подорвать усилия по улучшению кредитного качества, если, например, кредиты будут токенизированы, а основное качество кредитов станет труднее различить. Более того, растет понимание того, что углеродные кредиты являются «дополнительным инструментом», который не должен задерживать или заменять реальное сокращение выбросов в рамках собственной деятельности компании. Таким образом, обеспечение целостности VCM требует понимания обстоятельств, при которых компании списывают углеродные кредиты. В той мере, в какой торговля на основе блокчейна скрывает личность конечного пользователя углеродных кредитов, она будет противоречить VCM с высокой степенью интеграции и более широким усилиями по содействию прогрессу в достижении целей нулевого уровня выбросов. Наконец, хотя блокчейн часто рекламируется как средство повышения доверия, часто ставится под сомнение целостность основного проекта по сокращению или удалению углерода, а не вероятность того, что контрагент завершит сделку. Эта проблема доверия к VCM не является проблемой доверия, которую решают блокчейн или распределенные реестры.

В конечном счете, у блокчейна и DLT могут быть потенциальные приложения для экологических рынков, как и у этих технологий на любом другом рынке, при условии, что они соблюдают установленные рыночные правила. Задача, с которой сталкиваются эти рынки, заключается в проверке того, что стандарты гарантируют, что конкретный рынок продвигает желаемую экологическую цель. Это равнозначно проверке физической активности и результатов на соответствие этим стандартам и, при необходимости, обеспечению соблюдения стандартов.

Эти элементы успешных экологических рынков выходят за рамки функциональности и предполагаемых функций повышения доверия, предоставляемых блокчейном или любой другой базой данных или криптографической технологией. Опять же, проблемы связаны с проверкой реального актива, а не с продажей права собственности на актив.

Что касается рыночной и торговой инфраструктуры, потенциальные варианты использования блокчейна на углеродных рынках отслеживают существующие рыночные функции, и их принятие будет зависеть от того, сможет ли блокчейн предложить улучшение по сравнению с существующими технологиями по стоимости, скорости и безопасности, не причиняя дополнительного вреда окружающей среде. Ответственное внедрение DLT на углеродных рынках

также оценить экологическую справедливость, чтобы определить, как в результате ухудшаются или улучшаются условия для затронутых сообществ.

Блокчейн как технология для распределенной энергии Ресурсы

Новые возможности использования технологий блокчейна для управления энергопотреблением включают в себя использование калифорнийской системы Flex Alert. Эта система позволяет оператору электросети отправлять запросы на энергосбережение во время аварийной ситуации в сети, безопасно взаимодействовать с клиентами и понимать уровень участия, сохраняя при этом анонимность клиентов.^{197 198} Помимо обмена информацией, технология интеллектуальных сетей¹⁹⁹ может использовать услуги миллионов распределенных энергетических ресурсов (РЭР), таких как электромобили, топливные элементы, бытовые и коммерческие аккумуляторные системы и системы солнечной энергии, для повышения надежности сети. DLT потенциально может служить цифровым реестром для регистрации, аутентификации и участия этих DER в интеллектуальной сети, обеспечивая гибкие операции с сетью по мере принятия более изменчивых возобновляемых источников энергии. Как и в случае с любой новой и все еще развивающейся инновационной технологией, окончательная полезность DLT в электроэнергетике неизвестна. Сегодня электросеть и рынки представляют собой высокосентрализованные системы, в которых небольшое количество поставщиков продает электроэнергию большому количеству потребителей. Эта динамика может измениться в предстоящее десятилетие, поскольку все больше потребителей электроэнергии станут поставщиками. Инновации, поддерживаемые DLT, могут помочь оцифровать, автоматизировать и децентрализовать работу электросети²⁰⁰. Ключевой особенностью зрелой DLT является возможность автоматически заключать и выполнять соглашение, процесс, известный как смарт-контракт.²⁰¹ Автоматизированный и распределенный характер DLT делает ее кандидатом на поддержку развивающегося рынка экологически чистой электроэнергии с растущим количеством активов DER.

К 2040 году к сети будет подключено более 100 миллионов новых накопителей. Все эти устройства могут работать как потребители и поставщики электроэнергии, если их удастся скоординировать.

Эффективное и безопасное участие 100 миллионов РЭР на рынке потребует цифрового управления электросетью и более автономного и распределенного контроля, чем это возможно с современными технологиями.²⁰² Каждый РЭР представляет собой потенциальную угрозу физической и системы, программные системы и данные. Любое внедрение DLT в эту систему должно требовать повышенной безопасности.

Кроме того, в более разнообразной системе поставщиков и потребителей DLT может повысить надежность. DLT может обеспечить проверку, позволяя операторам сети и агрегаторам проверять в режиме реального времени услуги, предоставляемые каждым DER в пуле, путем анализа защищенного от несанкционированного доступа распределенного реестра. Это важно, потому что сетевым операторам потребуется проверка того, что агрегаторы предоставляют услуги по контракту. Кроме того, агрегатору и сетевому оператору потребуются доказательства того, что РЭР не является «двойной тратой» при продаже одной и той же услуги двум разным покупателям. Используя доказательства с нулевым разглашением, которые обычно используются в сообществе криптоактивов,²⁰³ DLT потенциально может предоставлять эти услуги, а также защищать личность и конфиденциальность агрегатора и владельцев DER, например информацию, связанную с типом DER, емкостью, местоположение, право собственности и договорные отношения.

По мере увеличения количества DER они также могут позволить создавать микросети, созданные сообществом, где ресурсы совместно используются в одноранговой сети (P2P) внутри сообщества. DLT может быть полезен в

управление отношениями P2P в этих микросетях. Эти микросети обычно представляют собой «виртуальные сети», в которых электроэнергия продается через сеть, принадлежащую сетевому оператору. В дополнение к удовлетворению предпочтений клиентов в отношении производства и потребления в своем сообществе, локализация производства и потребления электроэнергии может уменьшить перегрузку сети, что принесет пользу пользователям внутри и за пределами сообщества. Торговля энергией P2P требует некоторых из тех же вспомогательных технологий, что и криptoактивы, а именно аутентификации пользователей на основе криптографии, механизма создания рынка и платежной системы с помощью смарт-контрактов, защищенного от несанкционированного доступа реестра транзакций и полной возможности аудита. Торговля энергией P2P в сетях может использовать механизмы консенсуса с низким потреблением энергии, такие как PoS.

Блокчейн и DLT могут способствовать развитию экологических и энергетических рынков, включая углеродные рынки^{204,205}, координации распределенных энергетических ресурсов и общего управления цепочками поставок. Блокчейн и DLT открывают технологии, которые изучаются на различных рынках. Однако другие решения могут работать так же или даже лучше. Правительство США должно стремиться содействовать инновациям, которые решают проблемы рынка, соответствуют целям защиты окружающей среды и справедливости и должным образом обеспечивают защиту клиентов и инвесторов и целостность рынка.



5. Приложения

Таблица А.1

Сводка самых последних опубликованных оценок использования электроэнергии для выбранных блокчейнов PoW и PoS (2021–2022 гг.)²⁰⁶

Крипто Актив	Рынок оценка в августе 2022 г. (млрд долларов)	Консенсус Механизм	Дата Оценка(и)	Мировое потребление электроэнергии (ТВтч/год)			Источник
				Лучшая оценка	Нижнее значение	Верхний Ценность	
Биткойн	289 долларов США	PoW	15.08.2022 88,6	38,2	179.3	https://ccaf.io/cbeci/index	
			15.08.2022 144,9	62,6			https://digiconomist.net/bitcoin-потребление энергии https://digiconomist.net/ethereum
Эфириум \$185		PoW	15.08.2022 93,9	15,6			энергопотребление
			15.08.2022 22,9	16,5	32,2		https://kylemcronald.github.io/выбросы эфириума/
Кардано	15 долларов	PoS	06.09.2021	1.4E 04	4.4E 03		https://arxiv.org/abs/2109.03667
			08.08.2021	6.0E-04			https://www.carbon-ratings.com/dl/pos отчет-2022
Солана	11 долларов	PoS	09.10.2021	2.0E-03			https://www.carbon-ratings.com/dl/pos отчет-2022
Догикоин \$8		PoW	15.08.2022 3.8				https://digiconomist.net/dogecoin потребление энергии
В горошек	\$8	PoS	05.07.2021	1.4E 05	4.4E 04		https://arxiv.org/abs/2109.03667
			29.08.2021	7.0E-05			https://www.carbon-ratings.com/dl/pos отчет-2022
Лавина \$6		PoS	23.10.2021 4.9E-04				https://www.carbon-ratings.com/dl/pos отчет-2022
Алгоранд \$2		PoS	12.08.2021	5.4E 05	1.7E 03		https://arxiv.org/abs/2109.03667
			17.08.2021	5.1E-04			https://www.carbon-ratings.com/dl/pos отчет-2022
Тезос	1 доллар	PoS	12.08.2021	1.9E 05	5.9E 04		https://arxiv.org/abs/2109.03667
			25.08.2021	1.1E-04			https://www.carbon-ratings.com/dl/pos отчет-2022

Таблица А.2

Текущие характеристики производительности выбранных алгоритмов консенсуса блокчейна без разрешения²⁰⁷

	Доказательство работы (PoS)	Доказательство доли (PoS)	Доказательство дееспособности (PoC)	Практичный византийский Отказоустойчивость (ПБФТ)
Как это работает	Майнеры соревнуются, используя вычислительную мощность для решения сложной криптографической задачи	Проверяющие узлы предлагают криptoактивы в качестве доли для установления доверия, а не вычислительная мощность	Майнеры соревнуются, используя доступное дисковое пространство вместо вычислительной мощности	Большинство узлов голосования определяет консенсус
Примеры	Биткойн, Эфириум, Догикойн	Эфириум 2.0, Кардано, Солана, Алгоранд, Тезос	Сигна (ранее Бёрсткоин)	Зиллика
Потребление электроэнергии	Высокий (от 0,4% до 0,9% мирового потребления электроэнергии в августе 2022 г.)	Низкий (менее 0,001% мирового потребления электроэнергии в 2021 г.)	Ожидается, что он будет низким из-за энергоэффективности накопителей, но текущий масштаб внедрения невелик.	Может быть выше, чем PoS из-за потенциально большого количества узлов, но меньше, чем PoW
Масштабируемость	Высокая	Высокая	Высокая	От низкого до среднего
пропускная способность	Низкий	От среднего до высокого	Середина	От среднего до высокого
Задержка	От среднего до высокого	От низкого до среднего	Середина	От среднего до высокого
Безопасность	Высокая	Высокая	При условии дальнейшего тестирования	Высокая
Децентрализация	Высокая	Высокая	Высокая	От среднего до высокого

Таблица А.3

Количество вычислительных устройств и требования к мощности для некоторых криptoактивов в 2021 году

Сеть	Консенсус Механизм	Свидание	Вычислительные устройства в 2021 году		Энергопотребление (Батт/устройство) ²⁰⁸
			Тип номера		
Эфириум 2.0	PoS	07.05.21	183 753 валидатора	Узлы	6 – 168
Алгоранд	PoS	12.08.21	1126		
Кардано	PoS	06.09.21	2958		
В горошек	PoS	05.07.21	297		
Тезос	PoS	12.08.21	399		
Биткойн	PoW	14.05.21	2 900 000 майнинг	Блокчейн-платформы	1975 - 3472

Таблица А.4

Компиляция опубликованных оценок выбросов парниковых газов для майнинга криптоактивов с использованием механизма консенсуса PoW. Для надлежащей точности результаты округлены до двух значащих цифр.

		Выбросы			Коэффициент выбросов	Коэффициент выбросов Пространственная единица	Источник
		Среднее	Минимум	Максимум			
Блокчейн	Время Период	млн тонн CO2 экв./год	млн тонн CO2 экв./год	млн тонн CO2 экв./год	г CO2/ кВтч		
Эфириум, лайткоин, Монеро	1/2016- 6/2018	0,4	0,1	0,6		страна	Краузе и Толаймат 2018
Биткойн	1/2016- 6/2018	3,2	1,2	5,2		страна	Краузе и Толаймат 2018
Биткойн	2017	2,8	2	3,6		страна, провинция (Китай), штат (США)	Кальво-Пардо и др. 2022
Биткойн	2017	16	2,9	35		страна	2019 год
Биткойн	2017	16				страна	Масанет и др. 2019
Биткойн	2017	69				страна	Мора и др. 2018
Биткойн	2018	16	14	18		страна, провинция (Китай), штат (США)	Кальво-Пардо и др. 2022
Биткойн	2018	17				страна, провинция (Канада, Китай), штат (США)	Колер и Пиццоль 2019
Биткойн	2018	22	22	23		страна	Столл и др. 2019
Биткойн	2018	24	19	30	480	страна, провинция (Китай), штат (США)	де Врис 2019
Биткойн	2019	15	13	17		страна, провинция (Китай), штат (США)	Кальво-Пардо и др. 2022
Биткойн	2021	65			570	страна, провинция (Китай), штат (США)	де Врис и др. 2022
Догикойн	2022	2.2					Цифровой экономист 2022- 05-30
Эфириум	2022	49					Цифровой экономист 2022- 05-30
Биткойн	2022	110				страна, провинция (Китай), штат (США)	Цифровой экономист 2022- 05-30
биткойн, догикоин,	2022	160				страна, провинция (Китай), штат (США)	Цифровой экономист 2022- 05-30

		Выбросы			Коэффициент выбросов		
		Среднее	Минимум	Максимум			
Блокчейн	Время Период	млн тонн CO2 экв./год	млн тонн CO2 экв./год	млн тонн CO2 экв./год	г CO2/ кВтч	Коэффициент выбросов Пространственная единица	Источник
Эфириум							
Догикоин	2022	2.2					Цифровой экономист 2022-06-08
Эфириум	2022	47					Цифровой экономист 2022-06-08
Биткойн	2022	110				страна, провинция (Китай), штат (США)	Цифровой экономист 2022-06-08
биткойн, догикоин, Эфириум	2022	160				страна, провинция (Китай), штат (США)	Цифровой экономист 2022-06-08
Догикоин	2022	1,5					Цифровой экономист 2022-06-16
Эфириум	2022	30					Цифровой экономист 2022-06-16
Биткойн	2022	81				страна, провинция (Китай), штат (США)	Цифровой экономист 2022-06-16
биткойн, догикоин, Эфириум	2022	110				страна, провинция (Китай), штат (США)	Цифровой экономист 2022-06-16

Список сокращений

Аббревиатура Определение

ASIC	Специализированная интегральная схема
CO2	Углекислый газ
МЭР	Распределенные энергетические ресурсы
Министерство энергетики	
DLT	Технологии распределенного реестра
электронная сеть	Интегрированная база данных по выбросам и генерирующими ресурсам
ЭГ/С	Эксахаш в секунду
АООС	Агентство по охране окружающей среды
ЭРКОТ	Совет по надежности электроснабжения Техаса
г CO2 -экв./год	Грамм углекислого газа-эквивалента в год
парниковый газ	Парниковый газ
г/кВтч	Грамм на киловатт-час
ГВт	Гигаватт
МГЭИК	межправительственная комиссия по изменению климата
ИРА	Закон о снижении инфляции
Дж/ГХ	Джоули на гигагерц
кВтч	киловатт-час
Мт CO2/год	Миллион метрических тонн углекислого газа в год
МВтч	Мегаватт-час
ОСТП	Управление научно-технической политики
P2P	Пиринговый
PoS	Доказательство доли
PoW	Доказательство работы
TH/S	Терахеш в секунду
ТВтч/год	Тераватт-часов в год
ВКМ	Добровольные углеродные рынки

Межведомственный политический комитет

- Комиссия по торговле товарными фьючерсами (CFTC)
- Бюро финансовой защиты потребителей (CFPB)
- Министерство торговли (DOC)
- Министерство обороны (DOD)
- Министерство энергетики (DOE)
- Министерство внутренней безопасности (DHS)
- Министерство юстиции (DOJ)
- Министерство труда (DOL)
- Государственный департамент (DOS)
- Департамент транспорта (DOT)
- Министерство финансов (Казначейство)
- Агентство по охране окружающей среды (EPA)
- Исполнительный аппарат президента (ЕОП)
- Федеральная корпорация страхования депозитов (FDIC)
- Совет Федеральной резервной системы (FRB)
- Администрация общих служб (GSA)
- Национальный научный фонд (NSF)
- Офис директора национальной разведки (ODNI)
- Комиссия по ценным бумагам и биржам (SEC)
- Агентство США по международному развитию (USAID)



6. Концевые сноски

¹ Белый дом. (2022, 9 марта). Исполнительный указ № 14067 об обеспечении ответственного развития цифровых Ресурсы.

<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2022/03/09/executive-order-on-ensuring ответственное-развитие-цифровых-активов.>

² Пёртнер, Х.-О., Робертс, Д.С., Тигнор, М., Полочанска, Э.С., Минтенбек, К., Алегрия, А., Крейг, М., Лангсдорф, С., Лешке С., Меллер В., Окем А. и Рама Б. (ред.). (2022). Изменение климата 2022: последствия, адаптация и уязвимость. Рабочая группа II к шестому оценочному докладу Межправительственной группы экспертов по изменению климата. Издательство Кембриджского университета.

³ Рейдмиллер, Д.Р., Эйвери, К.В., Истерлинг, Д.Р., Канкель, К.Е., Льюис, К.Л., Мэйкок, Т.К., и Стюарт, Британская Колумбия (ред.). (2018). Воздействия, риски и адаптация в Соединенных Штатах: Четвертая национальная оценка климата, том II. Программа исследования глобальных изменений США, 1515. <https://doi.org/10.7930/nca4.2018>.

⁴ Агентство по охране окружающей среды США. (2021). Изменение климата и социальная уязвимость в Соединенных Штатах: внимание к шести воздействиям (EPA 430-R-21-003). https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-09/климатическая_уязвимость_september-2021_508.pdf.

⁵ Смит, А. (2022, 24 января). Погодные и климатические бедствия 2021 года на миллиард долларов США в историческом контексте. НАС Национальное управление океанических и атмосферных исследований. <https://www.climate.gov/news-features/blogs/beyond data/2021-us-billion-dollar-weather-and-climate-disasters-исторический.>

⁶ Валсинг, К., и Яган, Д. (2022, 4 апреля). Количественная оценка рисков для федерального бюджета от изменения климата. Белый дом. <https://www.whitehouse.gov/omb/briefing-room/2022/04/04/quantifying-risks-to-the-federal Budget-from-climate-change.>

⁷ Цифровой экономист (2022). Индекс энергопотребления биткойнов. Доступ с 30 мая по 16 июня 2022 г., с <https://digiconomist.net/Bitcoin-energy-consumption>

⁸ Дигизономист. (2022). Индекс энергопотребления Ethereum. Доступ с 30 мая по 16 июня 2022 г., с <https://digiconomist.net/Ethereum-energy-consumption>

⁹ Кембриджский центр альтернативных финансов. (2022). Кембриджский индекс потребления электроэнергии биткойнами. Университет Кембриджа. По состоянию на 15 августа 2022 г., <https://cbeci.org/>

¹⁰ Управление энергетической информации США. (й). Браузер данных по электроэнергии. Министерство энергетики США. <https://www.eia.gov/electricity/data/browser/>

¹¹ Международное энергетическое агентство. (2022). Отчет о рынке электроэнергии – январь 2022 г. Организация экономического сотрудничества эксплуатации и развития. <https://www.iea.org/reports/electricity-market-report-january-2022>

¹² Международное энергетическое агентство. (2021). Центры обработки данных и сети передачи данных. Организация экономического сотрудничества и развития. <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>

¹³ Управление энергетической информации США. (2022). Годовой энергетический прогноз 2021 (справочные таблицы). <https://www.eia.gov/outlooks/archive/aeo21.>

¹⁴ Малик, Н.С. (2022, 27 апреля). Потребление электроэнергии крипто-майнерами в Техасе равняется другому Хьюстону. Блумберг. https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-04-27/crypto-miners-in-texas-will-need-more-power-than_Хьюстон.

¹⁵ Конгресс США. (2022). HR 5376 - Закон о снижении инфляции от 2022 г. (PL 117-169). <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/5376/text.>

¹⁶ Министерство энергетики (2021 г.). Информационный бюллетень Министерства энергетики США: двухпартийная сделка по инфраструктуре принесет пользу американским рабочим, семьям и откроет путь к чистой энергии в будущем. Министерство энергетики США. <https://www.energy.gov/articles/doe-factsheet-bipartisan-infrastructure-deal-will-deliver-american-workers-families-and-0.>

¹⁷ Короама, В. (2021, 27 сентября). Энергопотребление блокчейна: предварительное исследование. Федеральное управление Швейцарии Энергия. <https://www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=68053.>

¹⁸ де Врис, А. (2020, декабрь). Энергопотребление Биткойна недооценено: подход, основанный на динамике рынка. Энергия Рез. соц. науч. 70, 101721. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101721.>

¹⁹ Международный банк реконструкции и развития (2018). Блокчейн и новые цифровые технологии для улучшения климатических рынков после 2020 года. Всемирный банк.

-
- <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/29499/124402-WPBlockchainandemergingdigitaltechnologiesforenhancingpostclimatemarkets-PUBLIC.pdf>
- ²⁰ Чоу, А. (2022, 26 мая). Криптоиндустрия была на пути к изменению рынка углеродных кредитов, пока не Ударьте по крупному блокпосту. Время. <https://time.com/6181907/crypto-carbon-credits/>.
- ²¹ Исполнительный аппарат президента. (2021, 1 февраля). Исполнительный указ 14008: Борьба с климатическим кризисом в Дома и за границей. Национальный архив США – Федеральный реестр. <https://www.federalregister.gov/documents/2021/02/01/2021-02177/tackling-the-climate-crisis-at-home-and-overseas>.
- ²² Соединенные Штаты Америки. (2021). Вклад Соединенных Штатов Америки, определяемый на национальном уровне: Сокращение выбросов парниковых газов в США. Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата. <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/United%20States%20NDC%20April%202021%202021%20Final.pdf>.
- ²³ Белый дом. (2021, 20 января). Исполнительный указ 13990: Защита общественного здоровья и окружающей среды и восстановление науки для преодоления климатического кризиса. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2021/01/20/executive-order-protecting-public-health-and-environment-and-restoring-science-to-tackle-climate-crisis/>.
- ²⁴ Конгресс США. (2022). HR 5376 - Закон о снижении инфляции от 2022 г. (PL 117-169). <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/5376/text>.
- ²⁵ Министерство энергетики США. (2022, 18 августа). DOE Projects Монументальное сокращение выбросов за счет Закона о снижении инфляции. <https://www.energy.gov/articles/doe-projects-monumental-emissions-reduction-inflation-reduction-act>.
- ²⁶ Конгресс США. (2021). HR 3684 - Закон об инвестициях в инфраструктуру и рабочих местах (PL 117-58). <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/3684/text>.
- ²⁷ Конгресс США. (2021). HR 4346 - Закон о чипах и науке (PL 117-167). <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/4346/text>.
- ²⁸ Кембриджский центр альтернативных финансов. (2022). Карта майнинга биткойнов. Кембриджский университет. https://ccaf.io/cbeci/mining_map.
- ²⁹ Башар Г., Хилл Г., Сингха С., Марелла П., Дагер Г. Г. и Сюо Дж. (2019, декабрь). Контекстуализация протоколов консенсуса в блокчейне: краткий обзор. В 2019 г. Первая международная конференция IEEE по доверию, конфиденциальности и безопасности в интеллектуальных системах и приложениях (TPS-ISA). ИИЭР, 190-195.
- ³⁰ Дополнительный контекст: в середине 2022 года Биткойн платил 6,25 биткойнов за каждый новый блок, при этом был опубликован один новый блок. примерно каждые 10 минут. Это составляет от 20 до 60 миллионов долларов США, выплачиваемых майнерам в день за обслуживание и обновление реестра биткойнов.
- ³¹ Лей, Н., Масанет, Э., и Куми, Дж. (2021). Лучшие практики для анализа прямого энергопотребления блокчейна технологические системы: обзор и рекомендации по политике. Энергетическая политика 156, 112422. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112422>.
- ³² Фердоус, М.С., Чоудхури, М.Дж.М., Хок, М.А., и Колман, А. (2020, 20 января). Блокчейн-консенсус алгоритмы: опрос. архив <https://arxiv.org/abs/2001.07091>.
- ³³ Килрой Блокчейн. (Й). Что такое Блокчейн? Как работает блокчейн? <https://kilroyblockchain.com/что-это-блокчейн>.
- ³⁴ Короама, В. (2021, 27 сентября). Энергопотребление блокчейна: предварительное исследование. Федеральное управление Швейцарии Энергия. <https://www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=68053>.
- ³⁵ Авелар, В., Азеведо, Д., Френч, А., и Пауэр, Э.Н. (ред.). (2012). ПУЭ: комплексное обследование метрики. Ассоциация зеленых сетей, 49.
- ³⁶ Столл, К., Клаассен, Л., и Галлерсдорфер, У. (2019, 16 февраля). Углеродный след биткойна. Сотовый пресс 3, 1-15. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3335781>.
- ³⁷ де Брис, А. (2020, декабрь). Энергопотребление Биткойна недооценено: подход, основанный на динамике рынка. Энергия Рез. соц. науч. 70, 101721. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101721>.
- ³⁸ Кембриджский центр альтернативных финансов. (2022). Кембриджский индекс потребления электроэнергии биткойнами. Университет Кембриджа. По состоянию на 15 августа 2022 г., <https://cbeci.org>.
- ³⁹ Платт, М., Седльмеир, Дж., Платт, Д., Таска, П., Сюй, Дж., Вадгама, Н., и Ибаньес, Дж.И. (2021). Энергетический след механизмов консенсуса блокчейна за пределами доказательства работы. IEEE 21st International Conference on Software Quality, Reliability and Security Companion (QRS-C). <https://doi.org/10.1109/QRS-C55045.2021.00168>.

-
- ⁴⁰ Gallerdö rfer, U., Klaaßen, L., и Stoll, C. (2022, январь). Энергоэффективность и углеродный след протоколов Proof of Stake Blockchain. Институт крипто-углеродных рейтингов (CCRI). https://www.carbon-ratings.com/dl/pos_report-2022.
-
- ⁴¹ Шехаби А., Смит С.Дж., Хорнер Н., Азеведо И., Браун Р., Куми Дж., Масанет Э., Сартор Д., Херрлин М. и Линтнер В. (2016, июнь). Отчет об энергопотреблении центра обработки данных в США — отчет LBNL-1005775. Национальная лаборатория Лоуренса Беркли, Беркли, Калифорния.
-
- ⁴² Международный союз электросвязи. (2022). Экологизация цифровых компаний: мониторинг выбросов и климата обязательства. <https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Pages/Events/2022/Greening-Digital-Companies.aspx>.
-
- ⁴³ Кембриджский центр альтернативных финансовых. (2022). Кембриджский индекс потребления электроэнергии биткойнами. Университет Кембриджа. По состоянию на 30 мая 2022 г., <https://cbecc.org/>.
-
- ⁴⁴ Международное энергетическое агентство. (2020, 26 февраля). Эффективность оборудования для майнинга биткойнов. <https://www.iea.org/data-and-statistics/graphs/equipment-efficiency-bitcoin-mining>.
-
- ⁴⁵ де Врис, А., и Столл, К. (2021). Растворяющая проблема биткойнов с электронными отходами. Ресурсы, сохранение и переработка 175, 105901. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105901>.
-
- ⁴⁶ Бенеттон, М., Компани, Г., и Морс, А. (2021, 14 мая). Когда криптомайнинг приходит в город: вторичные эффекты высокого потребления электроэнергии для местной экономики. ССРН. <https://ssrn.com/abstract=3779720>.
-
- ⁴⁷ управление энергетической информации США. (2022). Браузер данных по электроэнергии: средняя розничная цена на электроэнергию. Министерство энергетики США. <https://www.eia.gov/electricity/data/browser/>.
-
- ⁴⁸ Сол, Дж. (2022, 7 февраля). Грузия становится новой горячей точкой для роста криптовалюты в США и биткойн-майнеров принимают к сведению. Удача. <https://fortune.com/2022/02/07/georgia-hot-spot-bitcoin-mining-us-crypto-energy/>.
-
- ⁴⁹ де Врис, А., и Столл, К. (2021). Растворяющая проблема биткойнов с электронными отходами. Ресурсы, сохранение и переработка 175, 105901. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105901>.
-
- ⁵⁰ Улер, А. (2022, 25 марта). Крипто-майнеры используют природный газ, «застрявший» в скважинах, для питания энергоемких буровых установок. Торговая площадка. <https://www.marketplace.org/2022/03/25/crypto-miners-use-natural-gas-stranded-in-wells-to-power-energy-hungry-rigs/>.
-
- ⁵¹ Пллатт, М., Седльмеир, Дж., Пллатт, Д., Таска, П., Сью, Дж., Вадгама, Н., и Ибаньес, Дж.И. (2021). Энергетический след механизмов консенсуса блокчейна за пределами доказательства работы. IEEE 21st International Conference on Software Quality, Reliability and Security Companion (QRS-C). <https://doi.org/10.1109/QRS-C55045.2021.00168>.
-
- ⁵² де Врис, А., и Столл, К. (2021). Растворяющая проблема биткойнов с электронными отходами. Ресурсы, сохранение и переработка 175, 105901. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105901>.
-
- ⁵³ Управление энергетической информации США. (2021, 7 октября). Сколько электроэнергии потребляет американский дом? НАС Министерство энергетики. <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=97&t=3>.
-
- ⁵⁴ Управление энергетической информации США. (2022, 7 марта). Сколько электроэнергии используется для освещения в Соединенных Штатах Состояния? Министерство энергетики США. <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=99&t=3>.
-
- ⁵⁵ Управление энергетической информации США. (2022, 3 мая). Электричество объяснил. Министерство энергетики США. <https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/use-of-electricity.php>.
-
- ⁵⁶ Дополнительный контекст: этот диапазон основан на опубликованных оценках наилучшего предположения на 15 августа 2022 года для биткойнов. Ethereum и Dogecoin и опубликованы в середине-конце 2021 года для Ethereum 2.0, Algorand, Cardano, Polkadot, Tezos, Solana и Avalanche.
-
- ⁵⁷ Управление энергетической информации США. (й). Браузер данных по электроэнергии. Министерство энергетики США. <https://www.eia.gov/electricity/data/browser/>.
-
- ⁵⁸ Международное энергетическое агентство. (2022). Отчет о рынке электроэнергии – январь 2022 г. Организация экономического сотрудничества и эксплуатации и развития. <https://www.iea.org/reports/electricity-market-report-january-2022>.
-
- ⁵⁹ Международное энергетическое агентство. (2022). Центры обработки данных и сети передачи данных. Организация экономического сотрудничества и развития. По состоянию на 16 августа 2022 г. <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>.
-
- ⁶⁰ Дополнительный контекст: эти диапазоны основаны на самом низком и самом высоком опубликованном уровне потребления электроэнергии. оценок для биткойнов, эфириума и догекойнов в период с 1 января 2022 года по 15 августа 2022 года, а также самых низких и самых высоких опубликованных оценок криптоактивов PoS с середины до конца 2021 года, опубликованных в источниках, перечисленных в таблице А.1.
-
- ⁶¹ Кембриджский центр альтернативных финансовых. (2022). Кембриджский индекс потребления электроэнергии биткойнами. Университет Кембриджа. По состоянию на 16 августа 2022 г., с <https://cbecc.org/>.
-
- ⁶² Дигиэкономист. (2022). Индекс энергопотребления биткойнов. По состоянию на 16 августа 2022 г. с <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>.

-
- ⁶³ Дигиэкономист. (2022). Индекс энергопотребления Ethereum. По состоянию на 16 августа 2022 г. с <https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption>.
- ⁶⁴ Макдональд, К. (2022). Эмиссия Ethereum: оценка снизу вверх. По состоянию на 16 августа 2022 г. с <https://kylemcronald.github.io/ethereum-emissions/>.
- ⁶⁵ Дигиэкономист. (2022). Индекс энергопотребления Dogecoin. По состоянию на 16 августа 2022 г. с <https://digiconomist.net/dogecoin-energy-consumption>.
- ⁶⁶ Платт, М., Седльмейр, Дж., Платт, Д., Таска, П., Сью, Дж., Вадгама, Н., и Ибаньес, Дж.И. (2021). Энергетический след механизмов консенсуса блокчейна за пределами доказательства работы. IEEE 21st International Conference on Software Quality, Reliability and Security Companion (QRS-C). <https://doi.org/10.1109/QRS-C55045.2021.00168>.
- ⁶⁷ Gallerdsö rfer, U., Klaaßen, L., и Stoll, C. (2022, январь). Энергоэффективность и углеродный след протоколов Proof of Stake Blockchain. Институт крипто-углеродных рейтингов (CCRI). <https://www.carbon-ratings.com/dl/pos-report-2022>.
- ⁶⁸ Международное энергетическое агентство. (2022). Отчет о рынке электроэнергии – январь 2022 г. Организация экономического сотрудничества эксплуатации и развития. <https://www.iea.org/reports/electricity-market-report-january-2022>.
- ⁶⁹ Дополнительный контекст: диапазоны не будут суммироваться из-за округления, и они основаны на наиболее вероятных диапазонах годовых значений. оценки использования электроэнергии из указанных источников на 15 августа 2022 года.
- ⁷⁰ Кембриджский центр альтернативных финансов. (2022). Кембриджский индекс потребления электроэнергии биткойнами. Университет Кембриджа. По состоянию на 16 августа 2022 г., с <https://cbeci.org/>.
- ⁷¹ Дигиэкономист. (2022). Индекс энергопотребления биткойнов. По состоянию на 16 августа 2022 г. с <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>.
- ⁷² Дигиэкономист. (2022). Индекс энергопотребления Ethereum. По состоянию на 16 августа 2022 г. с <https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption>.
- ⁷³ Макдональд, К. (2022). Эмиссия Ethereum: оценка снизу вверх. По состоянию на 16 августа 2022 г. с <https://kylemcronald.github.io/ethereum-emissions/>.
- ⁷⁴ Короама, В. (2021, 27 сентября). Энергопотребление блокчейна: предварительное исследование. Федеральное управление Швейцарии Энергия. <https://www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=68053>.
- ⁷⁵ де Брис, А. (2020, декабрь). Энергопотребление Биткойна недооценено: подход, основанный на динамике рынка. Энергия Рез. соц. науч. 70, 101721. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101721>.
- ⁷⁶ Кембриджский центр альтернативных финансов. (2022). Карта майнинга биткойнов. Кембриджский университет. Доступ 16 августа 2022 г. с https://ccaf.io/cbeci/mining_map.
- ⁷⁷ Кембриджский центр альтернативных финансов. (2022). Потребность в мощности сети Биткойн. Кембриджский университет. <https://ccaf.io/cbeci/index>.
- ⁷⁸ Управление энергетической информации США. (й). Браузер данных по электроэнергии. Министерство энергетики США. <https://www.eia.gov/electricity/data/browser/>.
- ⁷⁹ Сиддик МАБ, Шехаби А. и Марстон Л. (2021 г., 21 мая). Экологический след центров обработки данных в США. Письма об экологических исследованиях 16(6), 064017. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/abfba1>.
- ⁸⁰ Дигиэкономист. (2022). Индекс энергопотребления биткойнов. По состоянию на 30 мая 2022 г., с <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>.
- ⁸¹ Управление энергетической информации США. (й). Документация Национальной системы энергетического моделирования (NEMS) модули. Министерство энергетики США. <https://www.eia.gov/outlooks/aoe/nems/documentation>.
- ⁸² Цифровой экономист (2022). Индекс энергопотребления биткойнов. <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>.
- ⁸³ YCharts. (2022, август) https://ycharts.com/indicators/bitcoin_average_transactions_per_block.
- ⁸⁴ Блокчейн. (2022). Данные о биткойн-транзакциях. По состоянию на 30 мая 2022 г., <https://www.blockchain.com/>.
- ⁸⁵ Этерскан. (2022). Данные о транзакциях Ethereum. По состоянию на 30 мая 2022 г., <https://etherscan.io>.
- ⁸⁶ Отчет Нильсона. (2022). Архив диаграмм и графиков. https://nilsonreport.com/publication_chart_and_graphs_archive.php.
- ⁸⁷ Дополнительный контекст: Mastercard, American Express и Visa сообщили о 104 100 МВтч, 224 051 МВтч и 173 117 МВтч. МВтч потребления электроэнергии соответственно в 2020 году.
- ⁸⁸ Мастеркард. (2021). Отчет об устойчивом развитии компании за 2020 год. https://www.mastercard.us/content/dam/public/mastercardcom/na/global-site/documents/mastercard_Sustainable-report-2020.pdf.
- ⁸⁹ American Express. (2021). Отчет об окружающей среде, социальной сфере и управлении за 2020–2021 годы. https://s29.q4cdn.com/330828691/files/doc_downloads/esg_resources/AXP-2020-2021-ESG-Report.pdf.
- ⁹⁰ Виза. (2020). Отчет об окружающей среде, социальной сфере и управлении за 2020 год. <https://usa.visa.com/content/dam/VCOM/global/about-visa/documents/visa-2020-esg-report.pdf>.

-
- ⁹¹ Дополнительный контекст: исходя из среднего ожидаемого потребления электроэнергии в 2020 г. в размере 68 млрд кВтч и 8 млрд кВтч для Биткойн (CBEI 2022) и Эфириум (Digiconomist 2022) соответственно.
- ⁹² Государственный департамент США и Администрация президента США. (2021, ноябрь). Долгосрочная стратегия Соединенных Штатов: пути к нулевым выбросам парниковых газов к 2050 году. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/10/US-Long-Term-Strategy.pdf>.
-
- ⁹³ Счетная палата правительства США. (2021, 10 марта). Устойчивость электросетей: изменение климата
Ожидается, что это будет иметь далеко идущие последствия, и DOE и FERC должны принять меры. <https://www.gao.gov/products/gao-21-423t>.
-
- ⁹⁴ Маклафлин, Т. (2022, 12 мая). Скрипучая энергосистема США угрожает прогрессу в области возобновляемых источников энергии и электромобилей. Рейтер. <https://www.reuters.com/investigates/special-report/usa-renewables-electric-grid/>.
-
- ⁹⁵ Замуда, К., Биллело, Д.Э., Конзельманн, Г., Мекрей, Э., Сатсанги, А., Тидвелл, В., и Уокер, Б.Дж. (2018).
Глава 4 (Энергообеспечение, поставка и спрос) воздействий, рисков и адаптации в Соединенных Штатах: Четвертая национальная оценка климата, том II. Программа исследования глобальных изменений США, 174–201. <https://doi.org/10.7930/NCA4.2018.CH4>.
-
- ⁹⁶ Холланд, С.П., Котчен, М.Дж., Мансур, Э.Т., и Йейтс, А.Дж. (2022, 14 февраля). Почему предельные выбросы CO2 не снижаются для производства электроэнергии в США: оценки и последствия для климатической политики. Труды Национальной академии наук 119 (8), e2116632119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2116632119>.
-
- ⁹⁷ Коммунальный округ округа Челан. (2018). Отчет персонала по криптовалюте. округ Челан, штат Вашингтон. <https://www.chelanpud.org/docs/default-source/default-document-library/final-cryptocurrency-staff-report.pdf>.
-
- ⁹⁸ Чамполи, П. (2018, 15 мая). Грант PUD устанавливает класс курса криптовалюты, Челан продлевает мораторий. Общественная власть. <https://www.publicpower.org/periodical/article/grant-pud-sets-cryptocurrency-rate-class-chelan-extends-moratorium>.
-
- ⁹⁹ Район коммунальных служб Бентона. (2018, 20 марта). Политика энергоемких нагрузок создана для интеллектуального анализа данных. округ Бентон, штат Вашингтон. <https://www.bentonpud.org/Newsroom/Electricity-Intensive-Load-Policy-Created-for-Data>.
-
- ¹⁰⁰ Бенеттон, М., Компиани, Г., и Морс, А. (2021, 14 мая). Когда криптомайнинг приходит в город: вторичные эффекты высокого потребления электроэнергии для местной экономики. ССРН. <https://ssrn.com/abstract=3779720>.
-
- ¹⁰¹ Комиссия по государственной службе Нью-Йорка. (2018, 15 марта). PSC позволяет муниципальным властям северной части штата взимать более высокие тарифы на электроэнергию для криптовалютных компаний, активно использующих электроэнергию. Департамент государственной службы штата Нью-Йорк. [https://www3.dps.ny.gov/pscweb/WebFileRoom.nsf/Web/52BF38680307E75E85258251006476F0/\\$File/pr180_18.pdf?OpenElement](https://www3.dps.ny.gov/pscweb/WebFileRoom.nsf/Web/52BF38680307E75E85258251006476F0/$File/pr180_18.pdf?OpenElement).
-
- ¹⁰² Малик, Н.С. (2022, 27 апреля). Потребление электроэнергии крипто-майнерами в Техасе равняется другому Хьюстону. Блумберг. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-04-27/crypto-miners-in-texas-will-need-more-power-than-houston>.
-
- ¹⁰³ Пан, Д. (2022, 11 июля). Биткойн-майнеры закрываются, поскольку энергосистема Техаса приближается к грани. Блумберг. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-07-11/bitcoin-miners-shut-off-rigs-as-texas-power-grid-bлизится-к-грани>.
-
- ¹⁰⁴ Пан, Д. (2022, 3 августа). Биткойн-майнер заработал миллионы на кредитах, закрыв буровые установки во время техасской жары. Блумберг. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-08-03/bitcoin-miner-made-millions-by-shutting-rigs-во-время-техасской-жары>.
-
- ¹⁰⁵ Проект технической прозрачности. (2022, 21 июля). Любимая сделка майнеров криптовалюты с Техасом угрожает и без того хрупкой сети. <https://www.techtransparencyproject.org/sites/default/files/Crypto%20Texas%20Report.pdf>.
-
- ¹⁰⁶ Европейский Совет. (2022, 30 июня). Цифровые финансы: достигнуто соглашение о европейском регулировании криптоактивов (MiCA). <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2022/06/30/digital-finance-agreement-reached-on-european-crypto-assets-regulation-mica/>.
-
- ¹⁰⁷ Кирос-Гутьеррес, М. (2022, 4 января). Криптовалюта полностью запрещена в Китае и еще 8 странах. Удача. <https://fortune.com/2022/01/04/crypto-banned-china-other-countries/>.
-
- ¹⁰⁸ Управление энергетической информации США. (й). Документация модулей Национальной системы энергетического моделирования (NEMS). Министерство энергетики США. <https://www.eia.gov/outlooks/aoe/nems/documentation/>.
-
- ¹⁰⁹ Международное энергетическое агентство. (2017, ноябрь). Цифровизация и энергетика. Организация экономического сотрудничества и развития. <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy>.
-
- ¹¹⁰ Блокчейн. (2022). <https://www.blockchain.com>.
-
- ¹¹¹ Куми, Дж. (2008). Превращение чисел в знания: овладение искусством решения проблем. Аналитическая пресса.

112

¹¹³ Дополнительный контекст: примерно с 0,29 Дж на гигагерц (Дж/ГГц) в августе 2016 г. до примерно 0,04 Дж/ГГц в июле 2022 г., по оценке СВЕСИ (2022) «наилучшее предположение» за этот период времени.

¹¹⁴ Кембриджский центр альтернативных финансов. (2022). Кембриджский индекс потребления электроэнергии биткойнами. Кембриджский университет. По состоянию на 16 августа 2022 г., с <https://cbecc.org/>.

¹¹⁵ Дополнительный контекст: общий хешрейт сети вырос примерно с 1,5 млн терахэшей в секунду (TH/S) в августе 2016 года до более 200 миллионов TH/S в июле 2022 года (blockchain.com/charts/hash-rate); в то время как оценка мощности сети СВЕСИ (2022) «наилучшего предположения» выросла с примерно 0,5 ГВт до почти 10 ГВт.

¹¹⁶ Всемирный совет предпринимателей по устойчивому развитию и Институт мировых ресурсов. (2004). Протокол по парниковым газам.

¹¹⁷ Цифровой экономист (2022). Индекс энергопотребления биткойнов. Доступ с 30 мая по 16 июня 2022 г. по адресу <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>.

¹¹⁸ Дигиэкономист. (2022). Индекс энергопотребления Ethereum. Доступ с 30 мая по 16 июня 2022 г. по адресу <https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption>.

¹¹⁹ Дигиэкономист. (2022). Индекс энергопотребления Dogecoin. Доступ с 30 мая по 16 июня 2022 г. по адресу <https://digiconomist.net/dogecoin-energy-consumption>.

¹²⁰ де Врис А., Галлерсдорфер У., Клаассен Л. и К. Столл. (2022). Пересмотр углеродного следа Биткойна. Джоуль 6 (3): 498-502. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joule.2022.02.005>.

¹²¹ Дигиэкономист. (2022). Индекс энергопотребления биткойнов. По состоянию на 16 августа 2022 г., <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>.

¹²² Шукла, П.Р., Скеа, Дж., Слэйд, Р. Аль Хурдаджи, А., ван Димен, Р., Макколум, Д., Патхак, М., Соме, С., Вьяс, П., Фрадера, Р., Белкасеми М., Хасия А., Лисбоа Г., Луз С. и Малли Дж. (ред.). (2022). Изменение климата 2022: смягчение последствий изменения климата. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК).

¹²³ Цифровой экономист (2022). Индекс энергопотребления биткойнов. Доступ с 30 мая по 16 июня 2022 г. по адресу <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>.

¹²⁴ Дигиэкономист. (2022). Индекс энергопотребления Ethereum. Доступ с 30 мая по 16 июня 2022 г. по адресу <https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption>.

¹²⁵ Дигиэкономист. (2022). Индекс энергопотребления Dogecoin. Доступ с 30 мая по 16 июня 2022 г. по адресу <https://digiconomist.net/dogecoin-energy-consumption>.

¹²⁶ Gellersdö rfer, U., Klaaßen, L., и Stoll, C. (2020). Энергопотребление криптовалют помимо биткойнов. Джоуль 4 (9), 1843-1846 гг. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joule.2020.07.013>.

¹²⁷ Кальво-Пардо, Х.Ф., Манчини, Т., и Олмо, Дж. (2022). Машинное изучение углеродного следа майнинга биткойнов. Журнал управления рисками и финансами 15(2), 71. <http://dx.doi.org/10.3390/jrfm15020071>.

¹²⁸ Хоуи, Н. 2019. Рациональный майнинг ограничивает выбросы биткойнов. Nature Climate Change 9(9), 655. <http://dx.doi.org/10.1038/s41558-019-0533-6>.

¹²⁹ Мора, К., Роллинз, Р.Л., Таладей, К., Кантар, М.Б., Чок, М.К., Шимада, М., и Франклайн, ЕС (2018). Одни только выбросы биткойнов могут привести к глобальному потеплению выше 2°C. Природа Изменение климата 8(11), 931–933. <http://dx.doi.org/10.1038/s41558-018-0321-8>.

¹³⁰ Цифровой экономист (2022). Индекс энергопотребления биткойнов. Доступ с 30 мая по 16 июня 2022 г. по адресу <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>.

¹³¹ Дигиэкономист. (2022). Индекс энергопотребления Ethereum. Доступ с 30 мая по 16 июня 2022 г. по адресу <https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption>.

¹³² Дигиэкономист. (2022). Индекс энергопотребления Dogecoin. Доступ с 30 мая по 16 июня 2022 г. по адресу <https://digiconomist.net/dogecoin-energy-consumption>.

¹³³ де Врис, А., Галлерсдорфер, У., Клаассен, Л., и Столл, К. (2022). Пересмотр углеродного следа Биткойна. Джоуль 6 (3): 498-502. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joule.2022.02.005>.

¹³⁴ де Врис, А. (2019). Возобновляемая энергия не решит проблему устойчивости Биткойна. Джоуль 3 (4), 893–898. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joule.2019.02.007>.

¹³⁵ Агентство по охране окружающей среды США. (2022). Интегрированная база данных по выбросам и генерирующими ресурсам (eGRID). <https://www.epa.gov/egrid>.

¹³⁶ Управление энергетической информации США. (2022). Сколько углекислого газа производится на киловатт-час производства электроэнергии в США? Министерство энергетики США. <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=74&t=11>.

¹³⁷ Управление энергетической информации США. (2022). Что такое производство электроэнергии в США по источникам? Министерство энергетики США. <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=427&t=3>.

42

КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ КРИПТО - АКТИВЫ В UNITEDSTAT ES

-
- 138 Дополнительный контекст: Заметным исключением является Совет по надежности электроснабжения Техаса, который покрывает 90% электрической нагрузки Техаса и имеет ограниченные соединения с остальной частью электроэнергетической системы США. Две трети электрической нагрузки США обслуживаются конкурентными оптовыми рынками электроэнергии, управляемыми региональными передающими организациями, а оставшаяся часть нагрузки обслуживается традиционными оптовыми рынками, управляемыми коммунальными предприятиями. Для получения дополнительной информации см. FERC. (2021). Рынки электропитания. <https://www.ferc.gov/electric-power-markets>.
- 139 де Шалендар, Дж. А., и Бенсон, С. М. (2021). Основанная на физике система согласования данных для отслеживания электропитания и выбросов в режиме реального времени. *Applied Energy* 304, 117761. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117761>.
-
- 140 Агентство по охране окружающей среды США. (2022). Интегрированная база данных по выбросам и генерирующими ресурсами (eGRID). <https://www.epa.gov/egrid>.
- 141 Агентство по охране окружающей среды США. (2022). Интегрированная база данных по выбросам и генерирующими ресурсами (eGRID). <https://www.epa.gov/egrid>.
- 142 де Врис, А., Галлердорфер, У., Клаассен, Л., и Столл, К. (2022). Пересмотр углеродного следа Биткойна. *Джоуль* 6 (3): 498-502. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joule.2022.02.005>.
- 143 Агентство по охране окружающей среды США. (2018). Выбросы парниковых газов от типичного легкового автомобиля (EPA-420-F-18-008). <https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle>.
- 144 На основе предполагаемых общих долей хешрейта в США в размере 10,5% и 37,8% в январе 2021 г. и августе 2022 г. соответственно, а также на основе наиболее вероятных глобальных значений мощности в 12,1 ГВт и 10,1 ГВт на 4 января 2021 г. и 15 августа 2022 г., соответственно, от Кембриджского центра альтернативных финансов.
- 145 Комиссия по ценным бумагам и биржам США. (2022). Marathon Digital Holdings, Inc., 2021 г., форма 10-K (2022 г.). <https://www.sec.gov/ix?doc=/Archives/edgar/data/0001507605/000149315222006446/form10-k.htm>.
- 146 Люти, Т. (2022, 6 апреля). Крипто-майнер планирует покинуть угольную электростанцию Hardin. Газета Биллингса. https://billingsgazette.com/news/crypto-miner-plans-to-exit-hardin-coal-fired-power-plant/article_cd2ca44-929a-511d-913d-903fb570498.html.
- 147 Дополнительный контекст: один из заводов — Greenidge Generation Station, расположенный на западном берегу озера Сенека, среди продуктивных виноградников и ферм Фингер-Лейкс. В первый год добычи полезных ископаемых Greenidge работала в семь раз больше, чем годом ранее, а выбросы CO2 увеличились на 479%. Рассчитано Агентством по охране окружающей среды США. (2022). Данные программы «Рынки чистого воздуха». <https://campd.epa.gov/>.
- 148 Комиссия по ценным бумагам и биржам США. (2022). Stronghold Digital Mining, Inc., 2021 г., форма 10-K (2022 г.). <https://www.sec.gov/ix?doc=/Archives/edgar/data/0001856028/000162828022007706/sd1q-20211231.htm>.
- 149 Браун, А. (2022, 15 февраля). Hallador приобретает угольный завод округа Салливан. Внутри Индианского бизнеса. <https://www.insideindianabusiness.com/articles/hallador-acquires-sullivan-county-coal-plant>.
- 150 Глобальная лента новостей. (2022, 11 мая). AboutBit запускает одно из крупнейших в стране предприятий по добыче криптовалюты. <https://www.globenewswire.com/news-release/2022/05/11/2440883/0/en/AboutBit-launches-one-of-nation-s-Larger-cryptocurrency-mining-facilities.html>.
-
- 151 Сторроу, Б. и Хольцман, Дж. (2022, 18 мая). Климатическая головоломка криптовалюты, E&E News. <https://www.eenews.net/articles/cryptocurrencies-climate-conundrum/>.
- 152 Дополнительный контекст: примеры включают электростанцию Greenidge, Нью-Йорк; Электростанция Хардин, Монтана; Генераторная установка Scrubgrass, Пенсильвания; Нефтяные и газовые скважины Big Dog, Пенсильвания; и попытка повторного открытия угольной электростанции Грант-Таун в Западной Вирджинии.
- 153 Дополнительный контекст: народ онондага в штате Нью-Йорк выступил против перезапуска электростанции Greenidge в Нью-Йорке из-за последствий глобального изменения климата и локального воздействия на их ограниченные природные ресурсы.
-
- 154 Агентство по охране окружающей среды США. (2022). Инвентаризация выбросов и стоков парниковых газов в США: 1990-1990 гг. 2020 г. <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2020>.
- 155 Управление энергетической информации США. (2020, 28 мая). Ежемесячный энергетический обзор. Министерство энергетики США.
- 156 Келер, С., и Пиццоль, М. (2019). Оценка жизненного цикла майнинга биткойнов. *Экологические науки и технологии* 53(23), 13598-13606. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.9b05687>.
- 157 Рок, М., и Дреннен, Т. (2022). Оценка жизненного цикла замерного майнинга биткойнов на электростанции в США. *Международный журнал оценки жизненного цикла* 27 (3), 355-365. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-022-02025-0>.
- 158 Агентство по охране окружающей среды США. (2022). Понимание потенциалов глобального потепления. <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>.
- 159 Управление внутренней климатической политики Белого дома. (2021, ноябрь). План действий США по сокращению выбросов метана. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/11/US-Methane-Emissions-Reduction-Action-Plan-1.pdf>.

- 160 Программа ООН по окружающей среде. (2021). Отчет о разрыве в уровне выбросов за 2021 год . Организация Объединенных Наций. <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2021>.
- 161 Международный банк реконструкции и развития. (2022). Глобальный отчет по отслеживанию сжигания попутного газа за 2022 год. Всемирный банк. <https://www.worldbank.org/en/topic/extractiveindustries/publication/2022-global-gas-flaring-tracker-report>.
- 162 Массон-Дельмотт, В., Жай, П., Пирани, А., Коннорс, С.Л., Пеан, К., Бергер, С., Кауд, Н., Чен, Ю., Гольдфарб, Л., Гомис, М.И., Хуанг М., Лейцелл К., Лонной Э., Мэтьюз Дж. Б. Р., Мэйлок Т. К., Утерфилд Т., Елекчи О., Ю Р. и Чжоу Б. (ред.). (2021). Изменение климата 2021: Физическая научная основа. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК).
- 163 Программа ООН по окружающей среде. (2021). Глобальная оценка метана. Организация Объединенных Наций. <https://www.unep.org/resources/report/global-methane-assessment-benefits-and-costs-mitigating-methan выбросы>.
- 164 Холланд, С.П., Котчен, М.Дж., Мансур, Э.Т., и Йейтс, А.Дж. (2022). Почему предельные выбросы CO2 не снижаются для производства электроэнергии в США: оценки и последствия для климатической политики. Труды Национальной академии наук США 119(8), e2116632119. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.2116632119>.
- 165 Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК). (2000). Землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство. Издательство Кембриджского университета.
- 166 Рамочная конвенция ООН об изменении климата (РКИК ООН). (2017). Методологический инструмент: Базовые, проектные и/или утечки выбросов от потребления электроэнергии и мониторинга производства электроэнергии, Версия 03.0. Организация Объединенных Наций.
- 167 Рамочная конвенция ООН об изменении климата (РКИК ООН). (2022). Методологический инструмент: Проект и выбросы утечки из биомассы, Версия 05.0. Организация Объединенных Наций.
- 168 Атмаджа, С., и Верчот, Л. (2012). Обзор состояния исследований, политики и стратегий по устранению утечек в результате сокращения выбросов в результате обезлесения и деградации лесов (REDD+). Стратегии смягчения последствий и адаптации к глобальным изменениям 17(3), 311-336. <http://dx.doi.org/10.1007/s11027-011-9328-4>.
- 169 Фишер, К., и Фокс, А.К. (2012). Сравнение политики по борьбе с утечкой выбросов: пограничные корректировки выбросов углерода и скидки. Журнал экономики и управления окружающей средой 64 (2), 199-216. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jeem.2012.01.005>.
- 170 Палмер, К., Бертоу, Д., Пол, А., и Инь, Х. (2017). Использование производственных стимулов для предотвращения утечки выбросов. Экономика энергетики 68, 45-56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2017.10.031>.
- 171 Палмер, К., Бертоу, Д., Пол, А., и Инь, Х. (2017). Использование производственных стимулов для предотвращения утечки выбросов. Экономика энергетики 68, 45-56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2017.10.031>.
- 171 Бистлайн, ДЖЕТ, Меррик, Дж., и Нимейер, В. (2020). Оценка рисков утечки в энергетическом секторе и влияния цен на выбросы углерода в Канаде на уровне провинций. Экономика окружающей среды и ресурсов 76 (1), 91-118. <http://dx.doi.org/10.1007/s10640-020-00421-4>.
- 172 Миллстайн, Д., Уизер, Р., Миллс, А.Д., Болингджер, М., Сил, Дж., и Чон, С. (2021). Стоимость солнечной и ветровой энергосистемы в Соединенных Штатах: влияние перегрузки при передаче, профили генерации и отключения. Джоуль 5 (7), 1749-1775. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joule.2021.05.009>.
- 173 Миранда, М.Л., Эдвардс, С.Э., Китинг, М.Х., и Пол, К.Дж. (2011). Оценка экологической справедливости: относительное бремя воздействия загрязнения воздуха в Соединенных Штатах. Международный журнал экологических исследований и общественного здравоохранения 8(6), 1755-1771. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph8061755>.
- 174 Тинд, Маниндер и др. (2019). Загрязнение воздуха мелкодисперсными частицами в результате производства электроэнергии в США: воздействие на здоровье в зависимости от расы, дохода и географии. Экологические науки и технологии 53(23), 14010 – 14019. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.9b02527>.
- 175 NYSDEC (2022). Уведомление об отказе в разрешении на полет по Разделу V. Департамент охраны окружающей среды штата Нью-Йорк. https://www.dec.ny.gov/docs/administration_pdf/greenidgefinal630.pdf.
- 176 Институт безотказной работы. (2021). Обзор отрасли центров обработки данных за 2021 год. <https://uptimeinstitute.com/resources/asset/2021-Промышленный центр обработки данных>.
- 177 Фонд исследования воды. (2016). Конечное использование воды в жилых домах, Версия 2: Резюме. https://www.awwa.org/Portals/0/AWWA/ETS/Resources/WaterConservationResidential_End_Uses_of_Water.пдф.
- 178 Эбрахими, К., Джонс, Г.Ф., и Флейшер, А.С. (2014). Обзор технологий охлаждения центров обработки данных, условий эксплуатации и соответствующих возможностей рекуперации низкоконтактного отходящего тепла. Обзоры возобновляемых и устойчивых источников энергии 31, 622-638. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.007>.

- 179 Уильямс, К. (2022). Городу в Аппалачах сказали, что биткойн-шахта вызовет экономический бум. Он получил шумовое загрязнение и бельмо на глазу. The Washington Post, 18 марта 2022 г. <https://www.washingtonpost.com/business/2022/03/18/bitcoin-mining-noise-pollution-appalachia/>.
- 180 Уильямс, К. (2022). Криптовалютный рудник района: «Как самолет, который никогда не улетает». Вашингтон Пост. 31 августа 2022 г. <https://www.washingtonpost.com/business/interactive/2022/cryptocurrency-mine-noise-homes-nc/>.
- 181 Монга, В. (2021). Шум при майнинге биткойнов сводит соседей с ума — гигантская стоматологическая дрель, которая не остановится. Журнал "Уолл Стрит. 12 ноября 2021 г.
- 182 Дэнахай, А. (2022). В сельской местности Пенсильвании криптовалютная шахта вызвала шумовое загрязнение. Аллегейский фронт. 13 июля 2022 г. <https://www.allegenyfront.org/rural-pennsylvania-bitcoin-mine-crypto-noise-pollution/>.
- 183 Пасшир-Верmeer, В., и Пасшир, В.Ф. (2000). Воздействие шума и здоровье населения. Перспективы гигиены окружающей среды 108 Suppl. 1, 123-131. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.00108s1123>.
- 184 Коэн, Дж. П., и Кафлин, К. С. (2008). Пространственные геодинамические модели шума аэропорта, близости и цен на жилье. Журнал региональной науки 48 (5), 859-878. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9787.2008.00569.x>.
- 185 Кейси, Дж. А., Морелло-Фрош, Р., Меннит, Д. Д., Фриструп, К., Оберн, Э. Л., и Джеймс, П. (2017). Раса / этническая принадлежность, социально-экономический статус, сегрегация по месту жительства и пространственные различия в воздействии шума на прилегающих территориях Соединенных Штатов. Перспективы гигиены окружающей среды 125(7), 077017. <http://dx.doi.org/10.1289/EHP898>.
- 186 Альтаф, С., Бэббит, К.В., и Чен, Р. (2020). Эволюция потребительских электронных отходов в США. Журнал промышленной экологии 25 (3), 693-706. <https://doi.org/10.1111/jiec.13074>.
- 187 де Врис, А. и К. Столл. 2021. Растущая проблема биткойнов с электронными отходами. Ресурсы, сохранение и переработка 175: 105901. doi:10.1016/j.resconrec.2021.105901.
- 188 Дигизекономист. (2022). Индекс энергопотребления биткойнов. По состоянию на 8 июня 2022 г., <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>.
- 189 де Врис, А., и Столл, К. (2021). Растущая проблема биткойнов с электронными отходами. Ресурсы, сохранение и переработка 175, 105901. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105901>.
- 190 Куми Дж., Берард С., Санчес М. и Вонг Х. (2011). Последствия исторических тенденций в электрической эффективности вычислений. IEEE Annals of the History of Computing 33(3), 46-54. <http://dx.doi.org/10.1109/MACH.2010.28>.
- 191 де Врис, А., и Столл, К. (2021). Растущая проблема биткойнов с электронными отходами. Ресурсы, сохранение и переработка 175, 105901. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105901>.
- 192 Шехаби А., Смит С.Дж., Хорнер Н., Азеведо И., Браун Р., Куми Дж., Масанет Э., Сартор Д., Херрлин М. и Линтнер В. (2016, июнь). Отчет об энергопотреблении центра обработки данных в США — отчет LBNL-1005775. Национальная лаборатория Лоуренса Беркли.
- 193 Агентство по охране окружающей среды США. (2022, 17 марта). Сертифицированные переработчики электроники. <https://www.epa.gov/smm-electronics/certified-electronics-recyclers>.
- 194 Ставинс, Р. Н. (2011 г., февраль) Проблема общин: все еще нерешенная спустя 100 лет. Американский экономический Обзор 100: 81-108.
- 195 Агентство по охране окружающей среды США. (2021). Изменение климата и социальная уязвимость в Соединенных Штатах: внимание к шести воздействиям (EPA 430-R-21-003). https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-09/климатическая_уязвимость_september_2021_508.pdf.
- 196 Дополнительный контекст: Программа ограничения и торговли устанавливает максимальный лимит или «предел» на общие выбросы из группы определенных источников, таких как электростанции. Крышка откалибрована для снижения выбросов для достижения желаемого экологического эффекта. На основе предельного значения уполномоченный орган, обычно учреждаемый законом и/или постановлением, выдает «разрешения», которые разрешают регулируемым источникам выбрасывать установленное количество загрязнителя для каждого разрешения (часто одну тонну). Источники, на которые распространяются ограничения, должны отслеживать и сообщать о выбросах, а также сдавать уполномоченному органу одну норму за каждую единицу загрязнения, которую они выбросили в течение соответствующего периода соблюдения. Эти надбавки обычно представляют собой торгуемые инструменты, отсюда и название «ограничение и торговля». Примером этого является Программа кислотных дождей Агентства по охране окружающей среды, созданная в соответствии с Разделом VI Закона о чистом воздухе. См . Программу кислотных дождей по адресу <https://www.epa.gov/acidrain/acid-rain-program>.
- 197 Джонс, Дж. С. (2021, 23 сентября). Калифорнийский ISO обращается к блокчейну, чтобы повысить гибкость предупреждений. Смарт Энерджи Интерншнл. <https://www.smart-energy.com/industry-sectors/energy-grid-management/california-iso-turns-to-blockchain-to-enhance-flexibility-alerting/>.

-
- 198 Мерто, Д., Экхаус, Б. (2022). Текстовое оповещение могло спасти Калифорнию от отключения электричества. Блумберг. 7 сентября 2022 г. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-09-07/a-text-alert-may-have-saved-california-from-power-blackouts>.
- 199 Министерство энергетики США. (nd) Заявление о политике модернизации электросетей. https://www.energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/EISA_Title_XIII_Smart_Grid.pdf.
- 200 Молла, М.Б., ЧжАО, Дж., Ниято, Д., Лам, К.-Ю., Чжан, Х., Гиас, АМИМ, Кох, Л.Х., и Ян, Л. (2021). DLT для будущих интеллектуальных сетей: всесторонний обзор. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(1), 18–43. <https://doi.org/10.1109/jiot.2020.2993601>.
- 201 Хан, С.Н., Луккил, Ф., Гедира-Геган, К., Бенхелифа, Э., и Бани-Хани, А. (2021). Смарт-контракты DLT: приложения, проблемы и будущие тенденции. Одноранговые сети и приложения, 14 (5), 2901–2925. <https://doi.org/10.1007/s12083-021-01127-0>.
- 202 О'Нил, К. (2022, 18 февраля). Снизу вверх: проектирование децентрализованной энергосистемы. Национальная лаборатория возобновляемых источников энергии. <https://www.nrel.gov/news/features/2019/from-the-bottom-up-designing-a-decentralized-power-system.html>.
- 203 Бен-Сассон, Э., Кьеза, А., Вирза, М., Гарман, К., Грин, М., Майерс, И., и Тромер, Э. (2014). Zerocash: децентрализованные анонимные платежи в биткойнах. Симпозиум IEEE по безопасности и конфиденциальности, 2014 г., 459–474. <https://doi.org/10.1109/sp.2014.36>.
- 204 Международный банк реконструкции и развития (2018). Блокчейн и новые цифровые технологии для улучшения климатических рынков после 2020 года. Всемирный банк. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/29499/124402-WPBlockchainandemergingdigitaltechnologiesforenhancingpostclimatemarkets-PUBLIC.pdf>.
- 205 Чоу, А. (2022, 26 мая). Криптоиндустрия была на пути к изменению рынка углеродных кредитов, пока не столкнулась с серьезным препятствием. Время. <https://time.com/6181907/crypto-carbon-credits/>.
- 206 «Наилучшая оценка» относится к ожидаемому авторами, центральному или «наиболее вероятному» опубликованному значению, когда оно доступно; данные рыночной оценки по состоянию на 26 августа 22 г. на основе <https://coinmarketcap.com/>; верхние и нижние значения относятся к диапазонам или границам, опубликованным авторами
- 207 Адаптировано из Lei et al. (2021) <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112422> и Фердоус и др. (2020). Алгоритмы консенсуса блокчейна: опрос. <https://arxiv.org/abs/2001.07091>; децентрализация относится к потенциальному децентрализации в теории; на практике децентрализацию можно уменьшить за счет концентрации майнинговых ферм или валидаторов в руках ограниченного числа операторов.
- 208 Для сетей PoS количество узлов валидатора и диапазон энергопотребления оцениваются Platt et al. (2021 г.); для биткойна количество майнинговых установок оценивается DeVries and Stoll (2021), а диапазон энергопотребления основан на диапазоне энергопотребления установками, который считается экономически жизнеспособным DeVries and Stoll (2021) 14.05.21.