

**Финансовые рынки**

# Эффективность рынка криптовалют после пандемии COVID-19

**Никита Александрович Носков**

Бакалавр отделения экономики ЭМИТ, РАНХиГС (РФ, 117517, Москва, пр. Вернадского, 82).  
E-mail: niknoom@yandex.ru

**Кирилл Дмитриевич Шилов**

ORCID: 0000-0002-2149-3946

Научный сотрудник лаборатории прикладных макроэкономических исследований центра математического моделирования экономических процессов Института прикладных экономических исследований, РАНХиГС (РФ, 117517, Россия, Москва, пр. Вернадского, 82).  
E-mail: shilov-kd@ranepa.ru

**Аннотация**

Целью настоящей работы является проверка слабой формы гипотезы эффективного рынка для самых высококапитализированных криптовалют из различных категорий: средства платежа, платежные системы, блокчейн-платформы и utility-токены — в период после марта 2020 года. Для проверки гипотезы в работе применяются традиционные для этой цели тесты на автокорреляцию и тесты серий. Также предпринята попытка построения прибыльных торговых стратегий, использующих информацию с традиционных рынков для принятия решения об открытии позиций в разных криптовалютах — в случае удачи это стало бы свидетельством против гипотезы об эффективности. Результаты проведенных статистических тестов демонстрируют повышение эффективности рынка криптовалют, а следовательно, падение прибыльности спекулятивной торговли на основе прошлых цен (технический анализ). Результаты торговых симуляций показали, что ввиду повышенной чувствительности криптовалютного рынка к динамике традиционных рынков в период после марта 2020 года появилась возможность построения торговых стратегий, учитывающих рыночную информацию и способных генерировать значительную избыточную по сравнению со стратегией «купить и держать» доходность в период спада на рынках цифровых активов (2021–2022) для некоторых криптовалют (Bitcoin, Dash, Zcash, Lumen). Таким образом, можно сделать вывод о постепенном повышении эффективности рынка криптовалют в части возможностей торговли на основе технического анализа. При этом благодаря росту степени сонаправленности с традиционным рынком можно говорить о появлении неэффективности в части предсказания доходностей криптовалют на основе внешней информации, которая в других исследованиях, выполненных на более ранних периодах, оказывалась нерелевантной.

**Ключевые слова:** криптовалюты, гипотеза эффективного рынка, торговые симуляции.

**JEL:** G12, G14, G17, C12, C32, C51.

---

Статья подготовлена в рамках выполнения научно-исследовательской работы государственного задания РАНХиГС.

Статья поступила в редакцию в сентябре 2022 года

**Financial Markets**

# Efficiency of the Cryptocurrency Market After the COVID-19 Pandemic

**Nikita A. Noskov**

Bachelor Student, Institute of Economics, Mathematics and Information Technology,  
Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration,<sup>a</sup> [niknoom@yandex.ru](mailto:niknoom@yandex.ru)

**Kirill A. Shilov**

*ORCID: 0000-0002-2149-3946*

Research Fellow, Laboratory of Applied Macroeconomics at the Center for Mathematical Modeling  
of Economic Processes of the Institute of Applied Economic Research, Russian Presidential Academy  
of National Economy and Public Administration,<sup>a</sup> [shilov-kd@ranepa.ru](mailto:shilov-kd@ranepa.ru)

<sup>a</sup> 82, Vernadskogo pr., Moscow, 119571, Russian Federation

**Abstract**

The aim of this study is to test the weak form of the efficient market hypothesis for the most highly capitalized cryptocurrencies in various categories (means of payment, payment systems, blockchain platforms, and utility tokens) after March 2020. The study uses standard statistical tools – autocorrelation tests and series tests – to evaluate the hypothesis, which is then tested in another way by attempting to arrive at profitable trading strategies using information from traditional markets to decide whether to open positions in various cryptocurrencies. The results of the statistical tests conducted demonstrate an increase in the efficiency of the cryptocurrency market and a consequent reduction in the profitability of speculative trading based on past prices (technical analysis). The trading simulations show that the increased sensitivity of the cryptocurrency market to the dynamics of traditional markets after March 2020 made it possible to find trading strategies that take into account market information and are able to generate significant excess returns compared to a “buy and hold” strategy during the downturn in the digital asset markets (2021–2022) for certain cryptocurrencies (Bitcoin, Dash, Zcash, Lumen). This supports the conclusion that the efficiency of the cryptocurrency market is gradually increasing in terms of identifying trading opportunities through technical analysis. However, the increase in comovement with the traditional market would suggest that it is inefficient to predict the returns of cryptocurrencies based on external information, which turned out to be irrelevant in other studies that examined earlier periods.

**Keywords:** cryptocurrency, efficient market hypothesis, trading simulations.

**JEL:** G12, G14, G17, C12, C32, C51.

## Введение

**В** современном финансовом мире криптовалюты занимают всё более весомые позиции. В 2021 году объем капитализации рынка криптовалют достиг 2,3 трлн долл., что соответствует 1% мировых финансовых активов, по данным [Криптовалюты..., 2022]. Несмотря на то что изначально эти цифровые активы создавались в качестве альтернативного независимого платежного средства, значительное число людей привлекает именно их инвестиционный/спекулятивный потенциал. Так, согласно исследованию, проведенному крупнейшей криптовалютой биржей Binance [Global Crypto..., 2021], более половины респондентов — 55% — заявили, что приобретают цифровые активы с целью долгосрочного инвестирования, около 38% — из-за недоверия к традиционной финансовой системе, 31% — для осуществления краткосрочных спекуляций, а 27% — из-за боязни упущенной выгоды (fear of missing out, FOMO).

В большинстве исследований отмечалось, что движение рынка криптовалют, в частности Bitcoin и Ethereum, не совпадало с движением рынков традиционных финансовых активов, таких как золото, ценные бумаги и недвижимость (см., например, [Baur et al., 2018]). Но ситуация изменилась после 2020 года и начала пандемии, когда корреляция между ценами Bitcoin и некоторых вышеперечисленных активов резко выросла (см., например, [Shifting Cross-Asset Correlations, 2021]).

По мере сближения рынка криптовалют по своим свойствам с классическими финансовыми рынками естественным образом возникает вопрос его эффективности. Если говорить о гипотезе рыночной эффективности, сформулированной Юджином Фамой в 1970 году, то большинство исследований, проведенных до 2020 года, отмечали, что рынок Bitcoin не обладает даже слабой формой эффективности, однако его характеристики постепенно приближаются к значениям, при которых можно будет говорить о наличии этого свойства.

В связи с этим проверка гипотезы эффективности применительно к рынку криптовалют, в том числе на данных после начала 2020 года, представляет существенный исследовательский интерес.

Цель настоящей работы — проверить наличие слабой формы эффективности рынка криптовалют и отследить динамику уровня его эффективности после начала 2020 года. Для этого мы применяем ряд статистических тестов, традиционно используемых в литературе по этой теме.

В работе предпринята попытка проверить эффективность рынков криптовалют не только с помощью статистических тестов, но

и с помощью торговых симуляций. Чем чаще участники традиционных финансовых рынков оперируют криптовалютами, тем актуальнее вопрос о возможностях использования рыночной информации для прибыльной спекулятивной торговли цифровыми валютами. С помощью достаточно простого статистического инструментария мы попробуем построить торговую систему, принимающую решение об инвестировании на основе предшествующих значений различных рыночных индексов.

В литературе, посвященной построению торговых стратегий и возможности прибыльной торговли, основной упор делается либо на использование изощренных методов (различных моделей машинного обучения), либо на перебор большого количества торговых стратегий, построенных на основе технического анализа и часто совершенно игнорирующих какие-либо рыночные факторы. Вместе с тем в литературе, посвященной анализу факторов, влияющих на цены криптовалют, часто оцениваются стандартные эконометрические модели, в том числе с использованием рыночных факторов, однако в центре внимания исследователя находятся различные метрики подгонки модели и ошибок прогнозов, но не возможность прибыльной торговли на основе этой информации.

Основным содержанием настоящей работы является попытка показать, что торговые стратегии для криптовалют, построенные на простейших эконометрических моделях с учетом различных рыночных факторов, могут приносить значимую избыточную доходность. Если такая торговая система сможет продемонстрировать результаты лучше, чем стратегия «купить и держать» (buy and hold), то это, с одной стороны, будет свидетельствовать в пользу отвержения гипотезы эффективного рынка для конкретной криптовалюты, а с другой — продемонстрирует релевантность традиционной финансовой информации для торговли криптовалютами, что может говорить о сближении рынков цифровых активов и классических финансовых активов.

Работа построена следующим образом: сначала мы проанализируем научную литературу, посвященную проверке гипотезы эффективных рынков, в том числе и для криптовалют. Далее обсудим данные и используемую методологию, после чего приведем результаты работы и их обсуждение.

## 1. Обзор литературы

Гипотеза эффективного рынка (efficiency market hypothesis, EMH) была впервые сформулирована Фамой в статье [Fama, 1965] и развита в последующих работах [Fama, 1970; 1991]. Фама определял рынок как эффективный, когда в каждый момент времени

цена на торгуемый актив отражает всю имеющуюся информацию и, следовательно, является хорошей оценкой справедливой внутренней стоимости актива. Так как основным признаком является объем заложенной в цены информации, то такую эффективность также называют информационной<sup>1</sup>. Фама выделял три формы рыночной эффективности. Слабая (низкая) форма эффективности рынка постулирует, что текущая рыночная цена учитывает информацию, содержащуюся во всех прошлых ценах данного актива. Следствием является тот факт, что невозможно предсказать будущее движение цен, имея лишь исторический ряд цен. Иными словами, технический анализ, опирающийся на анализ цен, не дает значимых преимуществ по сравнению со стратегией простой покупки актива (buy and hold).

В одной из поздних работ [Fama, 1991] Фама расширил определение слабой формы рыночной эффективности до невозможности предсказать будущую доходность инвестиций на основе не только прошлых цен самого актива, но и на основе любой доступной публичной информации. В контексте фондового рынка в роли такой публичной информации могут выступать дивидендный доход, отношение дохода компании к цене, отношение балансовой стоимости компании к рыночной, ставки процента и пр.

Средняя форма эффективности (полусильная) включает в себя слабую форму (информацию о прошлых ценах), а также предполагает, что текущие цены отражают вообще всю информацию (не только цены, но и новости, финансовые отчеты, слухи и т. д.), известную к данному моменту. Следовательно, попытка предсказать будущее движение цены на актив является неоправданной ввиду того, что информация доступна всем, а значит, преимущества ни у кого нет. Если рынок является среднеэффективным, то единственная для трейдера или инвестора возможность стабильно получать доходность выше среднерыночной — это инсайдерская торговля на основе непубличной информации или доступа к информации значительно раньше других участников.

При сильной форме эффективности актуальная рыночная цена отражает не только всю публичную информацию к текущему моменту, но и инсайдерскую. На рынке с сильной формой эффективности в принципе невозможно стабильно и систематически зарабатывать избыточную доходность.

Из наличия рыночной эффективности следует ряд выводов, имеющих практическое значение для инвесторов в ценные бумаги [Дамодаран, 2021]. В частности, если рынок эффективный, то

---

<sup>1</sup> Помимо информационной эффективности выделяют также аллокативную (allocative) и операционную (operational) — см., например, [Pilbeam, 2018]. В настоящей работе под рыночной эффективностью понимается именно информационная эффективность.

стратегия следования за рыночным индексом (покупка пая биржевого фонда на рыночный индекс) является более эффективной (доходной), чем любая другая активная стратегия. Иными словами, никакая другая стратегия инвестирования не способна долгое время гарантированно давать доходность выше рыночной. Также при прочих равных стратегия с меньшим количеством сделок является более эффективной (доходной), так как каждая сделка несет в себе издержки в виде брокерских комиссий, что понижает доходность.

Существует несколько методов оценки эффективности рынка в зависимости от того, гипотеза какой формы проверяется [Fama, 1991; Schwert, 2003]. Для проверки слабой формы используются преимущественно статистические процедуры, среди которых проверка наличия в рядах доходностей устойчивой автокорреляции, проверка рядов на эквивалентность процессу случайного блуждания, тесты на наличие в рядах фрактальности и длинной памяти, проверка простейших торговых стратегий и т. д. С помощью таких тестов анализируется возможность предсказывать доходности на основе прошлых значений цен актива или сопутствующих характеристик (например, размер компании — эмитента акции, значение цена/прибыль, капитализация и пр.)<sup>2</sup>.

Для проверки средней формы используется событийный анализ (event-study), или анализ влияния новостей на доходности. Результатом такого анализа является попытка определить, как быстро цена актива реагирует на новую публичную информацию и есть ли здесь пространство для получения избыточных доходностей. Проверка сильной формы также использует анализ событий [Bonsall et al., 2020; Rendleman et al., 1982], но концентрируется на области, связанной с поведением инсайдеров и владельцев компании (продажа/покупка акций). Целью такого анализа является попытка выявить признаки незаконной инсайдерской торговли [Syed et al., 1989], а также определить, насколько инвестор может использовать данные о публичных сделках инсайдеров для получения доходности выше рыночной [Seyhun, 2000].

С момента формулирования гипотезы эффективных рынков, однако, накопилось достаточно большое количество свидетельств в пользу ее отвержения, полученных в основном из области поведенческих финансов [Lim, Brook, 2011]. Это привело к появлению некоторой компромиссной концепции адаптивной рыночной эффективности (adaptive market hypothesis), которую сформулировал Эндрю Ло [Lo, 2004]. Согласно этой концепции рыночная

---

<sup>2</sup> Подробный обзор и эволюцию методов проверки слабой формы рыночной эффективности можно найти в [Lim, Brooks, 2011; Patil, Rastogi, 2019].

эффективность не является перманентной характеристикой, которая либо присуща тому или иному рынку, либо нет, но изменяется с течением времени — чередуются периоды высокой и низкой эффективности.

Что касается проверки гипотезы рыночной эффективности для криптовалют, то одной из ранних работ в этой области является статья [Urquhart, 2016]. На дневных данных в период с августа 2010 года по август 2016-го автор с помощью ряда статистических тестов (теста Льюнга — Бокса на наличие автокорреляции, серийного теста Уальда — Вульфовица, тестов Бартела и Ло — Маккинли) отвергает гипотезу слабой эффективности для криптовалюты Bitcoin.

В работе [Kyriazis, 2019] проведен метаанализ порядка 40 статей, посвященных проблеме определения эффективности на рынке Bitcoin и других криптовалют. Автор отбирал для анализа преимущественно те статьи, в которых используются методы масштабированного диапазона (rescaled range, R/S), детрендированного флуктуационного анализа (detrended fluctuation analysis, DFA), а также подобные методы тестирования наличия тяжелых хвостов и длинной памяти в рядах доходностей криптовалют. Из 40 статей лишь в двух авторы выявили наличие слабой формы эффективности в доходностях Bitcoin. Еще в одном исследовании была обнаружена эффективность лишь криптовалюты Ethereum, в то время как для Bitcoin, Litecoin и Ripple гипотеза эффективности отвергалась.

Авторы статьи [Al-Yahyaee et al., 2020], целью которой было проверить шесть основных криптовалют (Bitcoin, Ethereum, Litecoin, Dash, Monero и Ripple) на наличие слабой формы эффективности рынка и выявить зависимость между эффективностью и волатильностью, обнаружили признаки длинной памяти и мультифрактальности в рядах доходностей рассматриваемых криптовалют, что противоречит слабой форме гипотезы эффективного рынка. Авторы также продемонстрировали, что степень неэффективности рынка изменяется во времени, причем в среднем наиболее эффективным оказался рынок криптовалюты Dash, а наименее эффективным — Litecoin. Что касается связи волатильности с эффективностью, то авторы показали, что рынки криптовалют наиболее эффективны при высоком уровне ликвидности и низкой волатильности. Свидетельства в пользу изменяющейся во времени степени эффективности рынков были также обнаружены в работе [Noda, 2021], в которой отмечена тенденция рынка цифровых активов к повышению степени информационной эффективности. В целом работы, анализирующие доходности криптовалют на выборке до 2019–2020 годов, отмечают низкую эффективность рынков цифровых активов, однако с тенденцией к ее повышению [Столбов, 2019].

Исследованию эффективности рынка Bitcoin во время пандемии COVID-19 посвящена работа [Mnif, Jarbouï, 2021]. Авторы продемонстрировали, что до начала пандемии рынок Bitcoin характеризовался более высокой степенью мультифрактальности по сравнению с периодом после завершения острой фазы пандемии.

Стоит также упомянуть, что помимо проверки слабой формы предпринимались также попытки тестирования полусильной и даже сильной форм гипотезы эффективного рынка, хотя и с некоторой долей условности. В работе [Vidal-Tomás, Ibañez, 2018] авторы проанализировали реакцию цен криптовалюты Bitcoin в период с сентября 2011 по декабрь 2017 года на различные события, связанные с монетарной политикой США, еврозоны и Японии, а также на меры по легализации или запрету криптовалют в разных странах мира. На рассмотренном периоде авторы показали, что цена криптовалюты Bitcoin не реагировала на заявления монетарных властей и откликалась лишь на некоторые события из мира криптовалют.

Анализируя информацию о сделках на бирже Bitstamp в преддверии крупных событий, связанных со взломами криптовалютных бирж, заявлениями властей и регуляторов разных стран по вопросу легализации Bitcoin и т. д., авторы [Feng et al., 2019] обнаружили признаки инсайдерской торговли на рынке криптовалюты Bitcoin.

## 2. Данные и методология

В рамках настоящей работы мы вслед за работой [Синельникова-Мурылева и др., 2019] проверим гипотезу эффективности для различных типов криптовалют (табл. 1). Первая группа криптовалют — цифровые валюты, позиционирующие себя как средство платежа (Bitcoin, Bitcoin Cash, Litecoin, Monero, Dash, Zcash), с помощью которых можно оплачивать различные товары и услуги.

Вторая группа — токены проектов XRP Ledger (бывший Ripple) и Lumen проекта Stellar. Эти проекты позиционируют свои криптовалюты как некоторые «промежуточные активы» для осуществления трансграничных переводов и урегулирования обязательств между различными традиционными финансовыми институтами.

Третья группа — крупнейшие по капитализации и популярности блокчейн-платформы Ethereum и Binance, позволяющие пользователям создавать и взаимодействовать с различными децентрализованными приложениями<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Децентрализованные приложения — программные продукты/сервисы/протоколы, созданные с помощью смарт-контрактов.

Наконец четвертая группа — так называемые utility-токены, являющиеся расчетной валютой в рамках какого-либо сервиса. IOTA — расчетная валюта одноименного проекта, нацеленного на создание платформы торговли данными, собираемыми различными умными устройствами (интернет вещей, Internet of Things). Huobi — токен одноименной криптовалютной биржи, с помощью которого ее пользователи уплачивают комиссии за проведение сделок<sup>4</sup>. MANA — токен нашедшего проекта Decentraland, создающего децентрализованный вариант метавселенной, в которой токен MANA планируется использовать в качестве внутренней валюты (аналогично внутриигровой валюте в компьютерных играх)<sup>5</sup>.

Т а б л и ц а 1

## Анализируемые криптовалюты

T a b l e 1

## Analyzed Cryptocurrencies

Средство платежа	Платежные системы	Блокчейн-платформы	Utility-токены
Bitcoin	XRP (Ripple)	Ethereum	IOTA
Bitcoin Cash	Lumen (Stellar)	BNB (Binance coin)	Huobi
Litecoin			MANA (Decentraland)
Monero			
Dash			
Zcash			

Источник: составлено авторами.

Ряды цен криптовалют относительно доллара США были взяты с портала Investing.com за весь доступный период для каждой рассматриваемой криптовалюты вплоть до 7 марта 2022 года. Цены на этом портале формируются как взвешенные по торговому объему значения соответствующих котировок на крупнейших криптовалютных биржах (Binance, Coinbase, Bitfinex, FTX). Использовались цены открытия, на основе которых были рассчитаны логарифмические дневные и недельные доходности  $R_t = \ln(P_t) - \ln(P_{t-1})$ .

Для тестирования слабой формы гипотезы эффективных рынков мы будем придерживаться следующей стратегии исследования. Сначала с помощью статистических тестов мы проверим, насколько неслучайными являлись доходности анализируемых

<sup>4</sup> Стоит оговориться, что упомянутая выше криптовалюта Binance (BNB) одновременно является и utility-токеном, так как с помощью нее уплачиваются комиссии на одноименной бирже. Тем не менее блокчейн Binance Smart Chain является в настоящий момент главным конкурентом Ethereum как платформы для создания децентрализованных приложений, так что мы относим данную криптовалюту именно в эту категорию. Токен биржи Huobi, в свою очередь, используется исключительно для уплаты комиссий.

<sup>5</sup> В рамках проекта Decentraland существуют две криптовалюты — MANA и LAND. В настоящем исследовании мы используем только MANA, так как LAND является невзаимозаменяемым токеном (non-fungible token, NFT). Для NFT-токенов не существует единой цены, так как каждый такой токен является уникальным.

криптовалют. Для этого мы воспользуемся зарекомендовавшими себя для этих целей двумя тестами:

- тестом Льюнга — Бокса, нулевой гипотезой которого является отсутствие автокорреляции;
- серийным тестом (runs test), нулевой гипотезой которого является независимость распределения случайных величин (реализацией которых является ряд доходностей).

Эти тесты мы проведем на различных периодах:

- весь доступный период данных;
- период отсутствия пузыря на рынке криптовалют (с 1 мая 2018 по 1 марта 2020 года) [Шилов, Зубарев, 2021];
- период после начала пандемии, где началом пандемии считается дата локального минимума индекса американского фондового рынка S&P500 — 16 марта 2020 года.

С помощью этих тестов мы попытаемся проанализировать, как изменялась эффективность рынков криптовалют со временем. Мы предполагаем, что после начала пандемии COVID-19 эффективность рынка криптовалют значительно выросла, что связано с приходом крупных институциональных инвесторов из области традиционных финансов на данный рынок, на что косвенно указывает рост корреляции между дневными доходностями фондового индекса и Bitcoin (рис. 1).



Источник: составлено авторами по данным Investing.com.

Рис. 1. Скользящая 90-дневная корреляция между дневными доходностями S&P500 и криптовалютой Bitcoin

Fig. 1. Rolling 90-Day Correlation Between the Daily Returns of the S&P 500 and Bitcoin Cryptocurrency

Приход крупных инвесторов сопровождается ростом капитализации, ростом объема торгов, что, в свою очередь, повышает ликвидность рынка и может вести к росту эффективности [Patil, Rastogi, 2019]. Также интересным представляется оценить, насколько ряды тех или иных криптовалют являются более или менее эффективными в разрезе их типов. В частности, можно предположить, что криптовалюты из категории средства платежа должны быть более эффективными, так как на них в некоторой степени может существовать транзакционный спрос.

Как уже было сказано в обзоре литературы, более поздняя версия формулировки слабой формы эффективности рынка содержит тезис о невозможности предсказания доходностей цены актива на основе в том числе какой-либо внешней по отношению непосредственно к ряду цен информации. Увеличение сонаправленности рынка криптовалют с фондовым рынком после пандемии COVID-19 позволяет сделать предположение, что информация из сферы традиционных финансов становится более релевантной для рынка криптовалют.

Таким образом, если для какой-либо криптовалюты гипотеза слабой формы эффективности на периоде после COVID-19 не окажется отвергнутой на основе проведенных статистических тестов, то такую криптовалюту разумно протестировать на связь с ключевыми тенденциями традиционного финансового рынка. Мы будем рассматривать модель, где в качестве зависимой переменной будут выступать доходности криптовалют, а в качестве регрессоров — прошлые значения различных фондовых индексов. Подберем наилучшую такую модель и с ее помощью проведем торговую симуляцию, на основе которой проанализируем, насколько прибыльным является учет рыночной информации при осуществлении торговли криптовалютой.

В качестве индикаторов рыночной информации из области традиционных финансов используем некоторые конвенциональные переменные (см., например, [Dyhberg, 2016; Gil-Alana et al., 2020]), такие как ряды доходностей индекса S&P 500, индекс волатильности американского фондового рынка VIX, индекс волатильности нефти OVX, индекс доллара DXY и индекс китайского фондового рынка Shanghai Stock Exchange Composite (SSE). Все эти индексы взяты с портала Investing.com. Так как мы исследуем не одну криптовалюту, а несколько, причем из разных классов, мы постарались использовать набор некоторых ключевых агрегатов, а не конкретных активов. Кроме того, мы задействуем индексы волатильности, предполагая, что они отражают некото-

рую неопределенность, которая тоже может влиять на котировки криптовалют.

При построении торговой системы на основе внешней информации с использованием статистических методов важно учитывать наличие возможных коинтеграционных соотношений между активами. В случае если наблюдается коинтеграция между криптовалютами и традиционными активами, существует возможность применения этого соотношения для прибыльной торговли (статистический арбитраж). Предшествующие исследования в целом демонстрируют, скорее, отсутствие коинтеграции между криптовалютами и традиционными рыночными индексами [Adebola et al., 2019; Gil-Alana et al., 2020]. Мы также провели тест (Энгла — Гренджера) на наличие коинтеграции между каждой криптовалютой и набором рыночных факторов, однако значимой даже на 10-процентном уровне коинтеграции обнаружено не было<sup>6</sup>.

В связи с этим для каждой криптовалюты, для которой не будет отвергнута гипотеза слабой формы эффективности на основе статистических тестов, будут оценены следующие простые модели на дневных данных:

$$r_{coin,t} = \beta_0 + \beta_{sp500,1} r_{sp500,t-1} + \dots + \beta_{sp500,c} r_{sp500,t-c} + \\ + \beta_{vix,1} r_{vix,t-1} + \dots + \beta_{vix,d} r_{vix,t-d} + \beta_{ovx,1} r_{ovx,t-1} + \dots + \beta_{ovx,e} r_{ovx,t-e} + \\ + \beta_{dxy,1} r_{dxy,t-1} + \dots + \beta_{dxy,f} r_{dxy,t-f} + \beta_{sse,1} r_{sse,t-1} + \dots + \beta_{sse,g} r_{sse,t-g} + \varepsilon_t,$$

где величины  $\beta_{x,t-k}$  обозначают коэффициенты регрессии при зависимых переменных  $x$ , а величины  $r_{x,t-k}$  обозначают доходность соответствующих факторов  $x$ , взятых с некоторым лагом  $k$ . Величины  $c, d, e, f, g$  представляют собой максимальный лаг, который ограничен значением 5. Для каждой криптовалюты будут оценены все возможные модели со всеми возможными лагами, из которых с помощью критерия Шварца (BIC) будет выбрана одна наилучшая. Именно на основе этой модели и будет проводиться торговая симуляция для каждой криптовалюты, результаты которой будут сравниваться с доходностью от простой стратегии вложения в эту криптовалюту (buy and hold).

С помощью данного подхода мы одновременно проверим слабую форму гипотезы эффективности другим методом (с помощью торговой симуляции), а также оценим, насколько прошлая рыночная информация является значимой для рядов криптовалют, демонстрирующих по крайней мере слабую форму эффективности по результатам статистических тестов.

<sup>6</sup> Результаты доступны по запросу.

### 3. Результаты

Результаты тестов Льюнга — Бокса и серий на различных периодах для всех рассматриваемых криптовалют приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Результаты статистических тестов (*p*-value)

T a b l e 2

Results of Statistical Tests (*P*-Value)

Крипто-валюта	Тест Льюнга — Бокса			Тест серий		
	весь период	после пузыря 2017 (01.05.2018 — 01.03.2020)	пандемия (16.03.2020 — 07.03.2022)	весь период	после пузыря 2017 (01.05.2018 — 01.03.2020)	пандемия (16.03.2020 — 07.03.2022)
<i>Средства платежа</i>						
Bitcoin	0	0,002	<b>0,521</b>	<b>0,408</b>	0,001	0,001
Bitcoin Cash	<b>0,487</b>	0,010	0,007	0	0	0
Litecoin	0,002	0,018	<b>0,283</b>	0,027	0,001	<b>0,106</b>
Dash	0	0	0	0,005	0,043	<b>0,106</b>
Monero	0	0	0	0	0	0,011
Zcash	0	<b>0,056</b>	0	<b>0,098</b>	0,001	<b>0,557</b>
<i>Платежные системы</i>						
XRP	0,000	0,046	<b>0,863</b>	0	0	0,005
Lumen	<b>0,061</b>	0,04962	<b>0,634</b>	0,025	0,005	<b>0,057</b>
<i>Блокчейн-платформы</i>						
Ethereum	0,011	0	0	0	0,002	<b>0,145</b>
BNB	0	0,020	0	0,006	0,002	0,005
<i>Utility-токены</i>						
Huobi	0	<b>0,132</b>	0,001	<b>0,534</b>	0,032	<b>0,760</b>
IOTA	0,037	0,004	0,028	0	0	0,019
MANA	<b>0,167</b>	<b>0,083</b>	<b>0,359</b>	<b>0,107</b>	0,030	<b>0,308</b>

*Примечания:* 1. Расчеты производились в Python с помощью пакета Statsmodels. 2. Жирным шрифтом выделены значения, превышающие 0,05.

Для значительной части криптовалют гипотеза слабой формы эффективности рынка не отвергается хотя бы одним из приведенных тестов на выборке после начала пандемии на 5-процентном уровне значимости, о чем свидетельствуют значения *p*-value более 0,05. При этом лишь для криптовалют Huobi, Zcash и MANA гипотеза эффективности не отвергается по результатам теста Льюнга — Бокса в период с 2018 по 2020 год, причем для двух последних — лишь на 10-процентном уровне значимости. Можно также выделить криптовалюты, которые устойчиво демонстрируют неслучайность своих доходностей на всех рассматриваемых периодах, — Monero, IOTA и BNB. Bitcoin Cash также демонстрирует отвержение гипотезы отсут-

ствия автокорреляции в рядах на каждом из подпериодов, не включающих пузырь 2017 года.

Также интересно рассмотреть, как в динамике изменяются  $p$ -value этих тестов. Для этого мы провели тесты Льюнга — Бокса и тесты серий на скользящей подвыборке шириной в 180 дней, а также визуализировали динамику полученного ряда значений  $p$ -value. Такая ширина окна была выбрана из соображений достаточности количества наблюдений для получения надежных результатов тестов. На рис. 2 приведены результаты для самых высококапитализированных криптовалют — Bitcoin и Ethereum<sup>7</sup>.

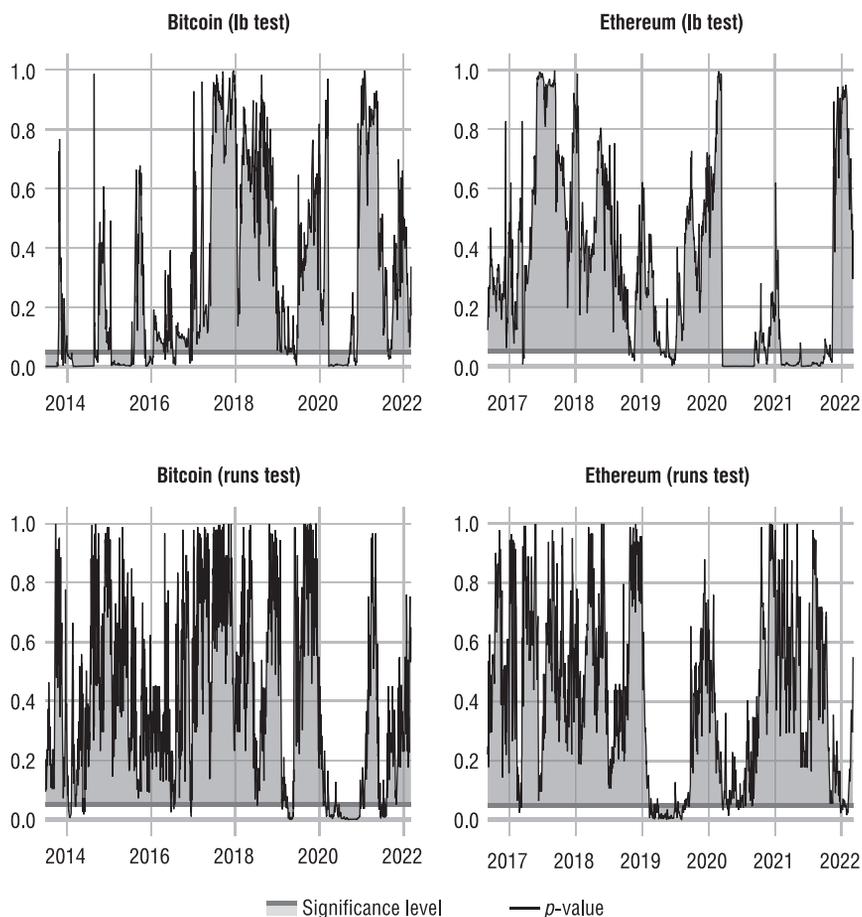


Рис. 2. Динамика значений  $p$ -value скользящих тестов с шириной окна в 180 наблюдений

Fig. 2. Dynamics of  $P$ -Value in Rolling Tests With a Window of 180 Observations

<sup>7</sup> Аналогичные графики были построены для всех криптовалют, их можно найти в Приложении.

Можно отметить, что при рассмотрении в перспективе 180-дневного окна большинство монет оказываются эффективными в слабой форме, так как их  $p$ -value, отмеченное на графиках, больше 5-процентного уровня значимости, отмеченного горизонтальной линией. Для криптовалют Bitcoin и XRP заметен низкий уровень эффективности в соответствии с результатами теста Льюнга — Бокса на периоде до 2017 года, что характеризует период становления рынка этих криптовалют. Для всех криптовалют по результатам обоих тестов также наблюдается один и тот же момент снижения эффективности, а именно во время стремительного падения и последовавшего за ним резкого роста рынков из-за пандемии COVID-19. Ситуация снижения эффективности также наблюдалась и на традиционном рынке, причем в значительной части это было обусловлено страхом инвесторов [Vasileiou, 2021].

Что касается полученных результатов в разрезе различных категорий анализируемых цифровых активов, то самыми эффективными в период после начала пандемии оказались рынки криптовалют из категории «платежные системы» (XRP и Lumen). При этом наименьшая эффективность наблюдалась на рынках криптовалют из категории «блокчейн-платформы». Для криптовалюты BNB блокчейна Binance Smart Chain признаки эффективности на всех рассматриваемых периодах не усматриваются, что может свидетельствовать о манипуляциях ценой BNB со стороны биржи Binance<sup>8</sup>. Что касается криптовалют из категории «средство платежа», то наиболее эффективным оказался рынок Litecoin, а наименее — Monero, что согласуется с результатами [Al-Yahyaee et al., 2020].

Результаты статистических тестов говорят о росте эффективности рынков всех криптовалют, кроме Bitcoin Cash, Monero, BNB и IOTA. Таким образом, в соответствии с выбранной стратегией исследования мы оцениваем прогнозные модели доходностей с учетом рыночной информации для оставшихся девяти криптовалют и проводим на их основе торговые симуляции.

Модели были оценены на периоде с 16 марта 2020 по 15 марта 2021 года. Всего было оценено порядка 16 тыс. различных спецификаций. В табл. 3 представлены наилучшие спецификации (выбранные по критерию Шварца), а именно количество лагов переменных, отражающих рыночную информацию (S&P 500, VIX, OVX, DXU и SSEC) для каждой криптовалюты.

После получения спецификации моделей были построены торговые симуляции. Для каждой криптовалюты начиная

---

<sup>8</sup> <https://cryptoslate.com/binance-bnb-reacts-to-allegations-of-market-manipulation/>.

Т а б л и ц а 3

## Наилучшие спецификации

T a b l e 3

## Best Specifications

	Bitcoin	Litecoin	Dash	Zcash	XRP	Lumen	Ethereum	Huobi	MANA
S&P 500	5	1	1	1	1	1	5	1	5
VIX	4	1	1	1	1	1	2	1	1
OVX	4	2	1	3	1	1	3	1	4
DXY	4	4	4	4	1	1	4	1	4
SSE	3	4	4	1	1	1	1	1	5

Источник: составлено авторами.

с 16 марта 2021 года было посчитано прогнозное значение ее доходности в момент времени  $t + 1$ , то есть на следующий день. Если полученное значение оказывалось положительным, то производилась покупка криптовалюты (по цене в момент времени  $t$ ), если же отрицательным — то продажа. Все симуляции проводились без возможности использования кредитного плеча, соответственно, при отсутствии криптовалюты и получении сигнала на продажу сделка не происходила<sup>9</sup>. В табл. 4 представлены полученные доходности от торговли за период с 16 марта 2021 по 7 марта 2022 года.

Т а б л и ц а 4

## Результаты торговой симуляции (%)

T a b l e 4

## Results of Trading Simulations (%)

Криптовалюта	Простое вложение	Доходности по результатам моделей				
		стабильные коэффициенты	30 дней	60 дней	90 дней	180 дней
Bitcoin	-33,16	<b>-15,99</b>	<b>11,16</b>	<b>11,16</b>	<b>7,81</b>	<b>-24,69</b>
Litecoin	-51,21	<b>2,73</b>	<b>-1,14</b>	<b>-1,14</b>	<b>-5,56</b>	<b>-22,08</b>
Dash	-61,50	<b>-16,29</b>	<b>13,99</b>	<b>13,99</b>	<b>-6,42</b>	<b>-41,36</b>
Zcash	-21,34	<b>7,61</b>	<b>15,42</b>	<b>23,66</b>	<b>-14,42</b>	<b>-5,00</b>
XRP	56,42	38,05	11,21	15,53	52,32	<b>92,35</b>
Lumen	-56,82	<b>-8,75</b>	<b>13,89</b>	<b>19,50</b>	<b>13,62</b>	<b>-16,98</b>
Ethereum	38,10	35,38	12,89	20,33	-1,56	28,60
Huobi	-38,14	<b>-29,00</b>	<b>-9,19</b>	<b>-9,34</b>	<b>-13,48</b>	<b>-49,54</b>
MANA	159,55	-16,32	-8,99	-14,12	6,21	-32,36

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения доходности, превышающие доходность от простого вложения в конкретную криптовалюту.

В первом столбце представлена референсная доходность от вложения в соответствующую криптовалюту 16 марта 2021 года

<sup>9</sup> Комиссии на сделки также предполагаются равными нулю.

и продажи ее 7 марта 2022 года. Во втором столбце продемонстрированы результаты торговой симуляции с использованием моделей, оцененных с 16 марта 2020 по 15 марта 2021 года. В третьем, четвертом и пятом столбцах отражены результаты торговой симуляции с использованием тех же моделей, но переоцениваемых каждый день на основе предшествующих 30, 60, 90 и 180 дней соответственно. Иными словами, во втором столбце использовались модели, в которых коэффициенты при объясняющих переменных были оценены единожды, в то время как в других столбцах коэффициенты пересчитывались каждый день.

Следует отметить, что полученные результаты следует интерпретировать с осторожностью, так как они были получены на относительно коротком горизонте.

Как можно увидеть, за анализируемый тестовый период значительная часть криптовалют демонстрировала отрицательную динамику. Так, владение лишь тремя криптовалютами из рассматриваемых девяти, — а именно XRP, Ethereum и MANA, — принесло бы положительную доходность. Примечательно, но для всех остальных криптовалют результаты торговых симуляций продемонстрировали более высокие доходности, чем стратегия «купить и держать». Так, например, практически для всех криптовалют из категории «средства платежа» (кроме Litecoin) использование рыночной информации с переоценкой коэффициентов модели по данным за предшествующие 30 и 60 дней приводило к положительным доходностям в размере 11–15,5%, в то время как сами активы подешевели на 21–51%. Впрочем, использование выбранной стратегии и для Litecoin оказалось бы положительным в том смысле, что убытки могли бы составить всего 1–22% против доходности в размере 61,5% при просто владении.

Аналогичная ситуация наблюдается и с токеном криптовалютной биржи Nuobi, цена на который снизилась на рассматриваемом периоде на 38,14%, — использование торговой стратегии, учитывающей рыночную информацию, могло бы значительным образом уменьшить убыток. Значительная избыточная доходность также наблюдается для криптовалюты Lumen.

В целом полученные результаты торговой симуляции свидетельствуют в пользу важности учета рыночной информации, содержащейся в котировках различных фондовых, товарных и валютных индексах. Предыдущие исследования на эту тему преимущественно демонстрировали незначительность данных факторов при прогнозировании доходностей криптовалют на более ранних периодах (см., например, [Liew et al., 2019; Malladi et al., 2019]).

Стоит также оговориться, что данная симуляция проводилась в период, который можно охарактеризовать как «медвежий рынок», следовательно, было бы слишком самонадеянно полагать, что использование торговой системы с учетом рыночных факторов сможет продемонстрировать избыточную доходность (по сравнению со стратегией «купить и держать») на «бычьем рынке».

## Выводы

В настоящей работе с помощью различных статистических тестов и торговой симуляции было осуществлено тестирование слабой формы гипотезы эффективного рынка применительно к рынку криптовалют. Основной особенностью работы является анализ данного аспекта рынка цифровых активов в период после начала пандемии COVID-19, который, помимо всего прочего, характеризовался повышением корреляции между динамикой цен традиционных финансовых активов и криптовалютой.

Результаты статистических тестов демонстрируют, что период с марта 2020 года характеризуется более высоким уровнем эффективности: значимая автокорреляция отсутствует либо отсутствует случайность, выявленная по результатам серийного теста. Тем не менее рынки некоторых рассматриваемых криптовалют (в том числе Bitcoin Cash, Monero, BNB и IOTA) продолжают демонстрировать неэффективность в периоде после начала пандемии COVID-19, и спекулятивные операции с ними могут обеспечивать стабильную положительную доходность. Криптовалютой, на рынке которой проявилась наибольшая эффективность, оказался Litecoin, а если группировать рынки по категориям цифровых активов, то наиболее эффективны рынки активов категории «платежные системы» (XRP и Lumen).

Повышение корреляции динамики цен между традиционным рынком и рынком криптовалют позволяет высказать предположение, что можно использовать рыночную информацию для получения избыточной доходности при торговле на рынке цифровых активов. Для проверки этой гипотезы была построена торговая система, использующая предшествующие значения индекса S&P 500, индекса волатильности американского рынка VIX, индекса волатильности нефти OVX, индекса доллара DXY и Shanghai Composite в качестве индикаторов для принятия инвестиционного решения. Результаты торговой симуляции показали, что учет рыночной информации может значительным образом повлиять на результаты инвестирования. В частности, построение торговой стратегии с учетом динамики рыночных индексов для торговли

криптовалютами, позиционирующимися как «средства платежа» (Bitcoin, Litecoin, Dash, Zcash), способно если не получить значительную высокую избыточную доходность, то хотя бы существенно снизить убытки.

Резюмируя, можно говорить, что рынок криптовалют, несомненно, эволюционирует и движется в сторону всё большей эффективности. Более того, котировки некоторых криптовалют становятся более чувствительными к информации с других мировых рынков, что свидетельствует в пользу гипотезы о конвергенции рынка криптовалют с традиционными финансовыми рынками.

Приложение

Appendix

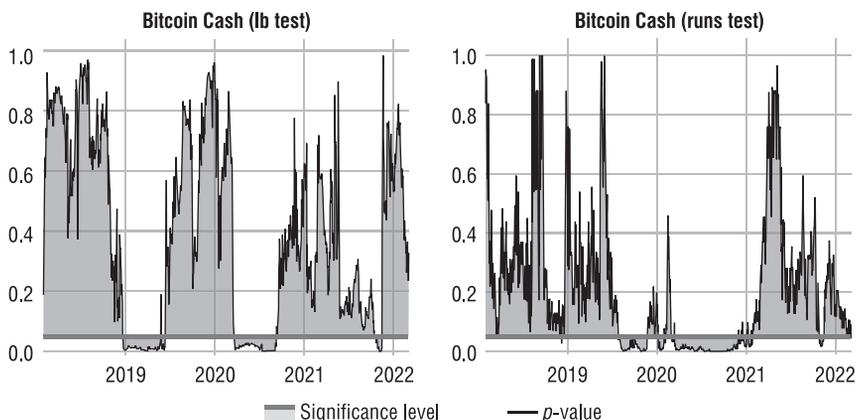


Рис. П1. Результаты тестов Bitcoin Cash

Fig. A1. Results of Bitcoin Cash Tests

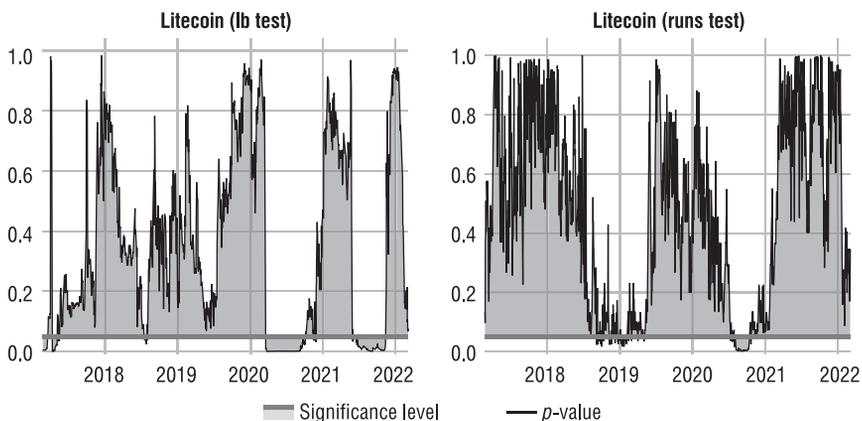


Рис. П2. Результаты тестов Litecoin

Fig. A2. Results of Litecoin Tests

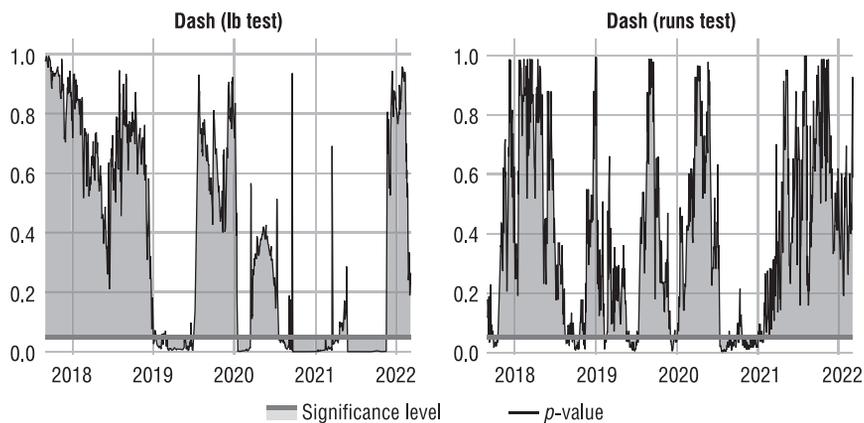


Рис. ПЗ. Результаты тестов Dash  
Fig. A3. Results of Dash Tests

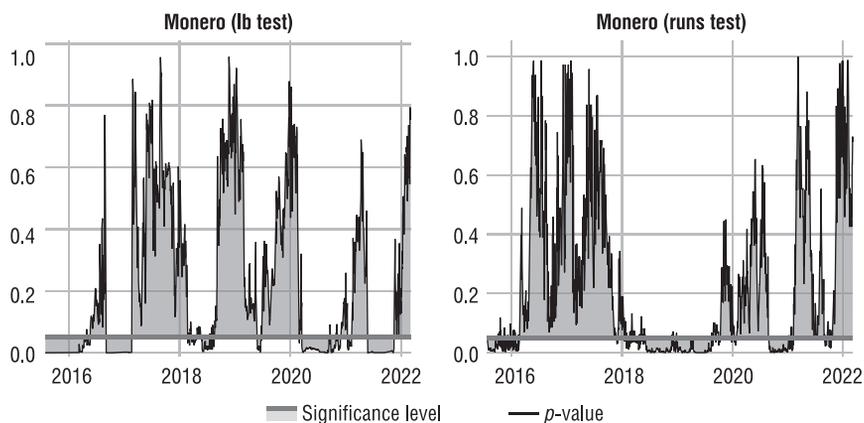


Рис. П4. Результаты тестов Monero  
Fig. A4. Results of Monero Tests

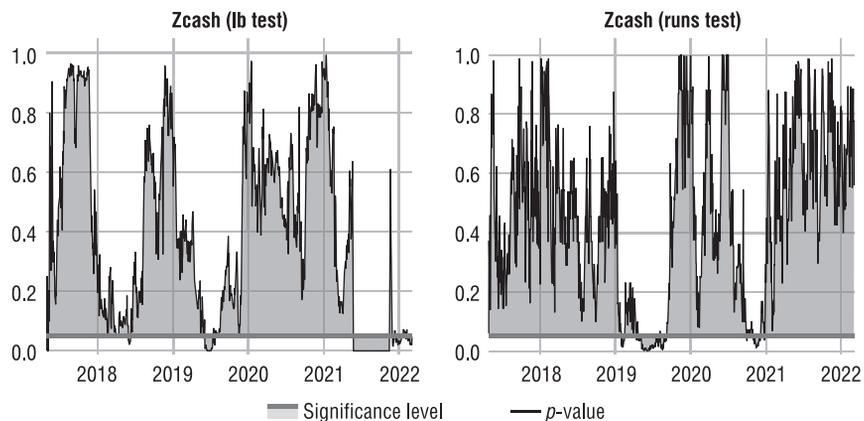


Рис. П5. Результаты тестов Zcash  
Fig. A5. Results of Zcash Tests

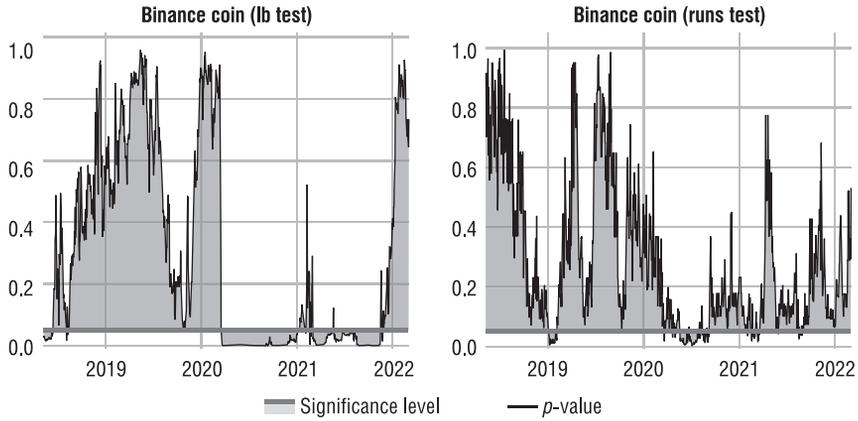


Рис. П6. Результаты тестов BNB (Binance)  
Fig. A6. Results of BNB (Binance) Tests

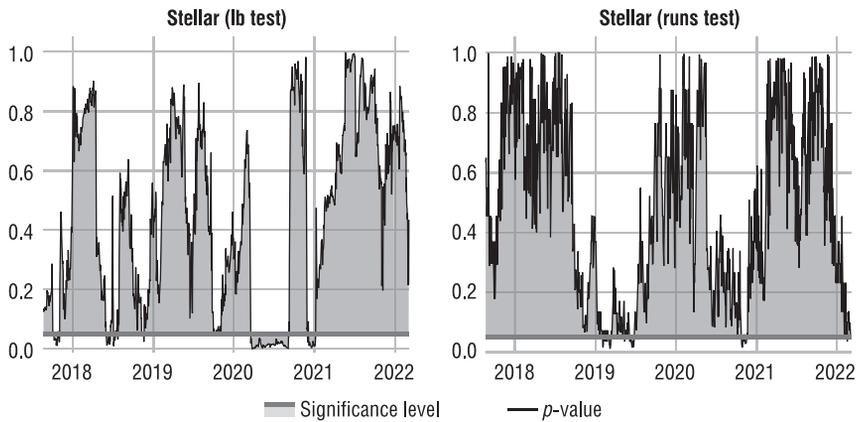


Рис. П7. Результаты тестов Lumen (Stellar)  
Fig. A7. Results of Lumen (Stellar) Tests

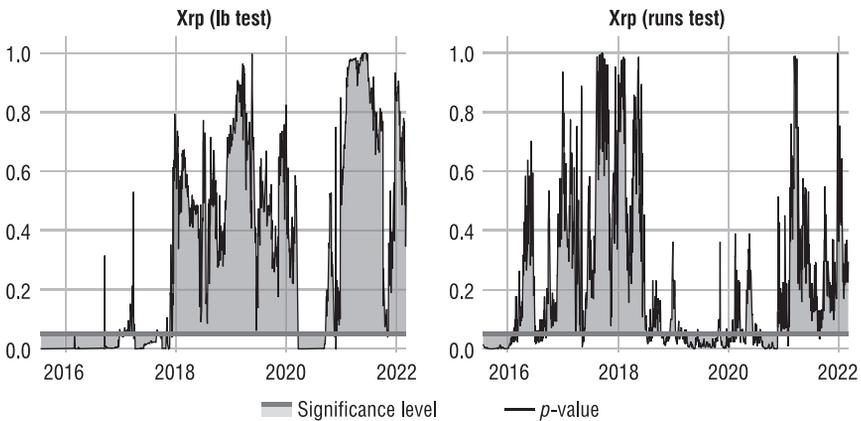


Рис. П8. Результаты тестов XRP (Ripple)  
Fig. A8. Results of XRP (Ripple) Tests

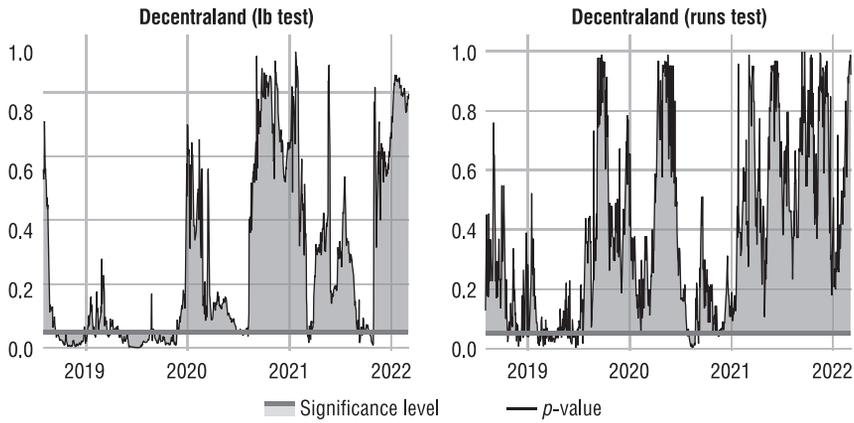


Рис. П9. Результаты тестов MANA (Decentraland)  
 Fig. A9. Results of MANA (Decentraland) Tests

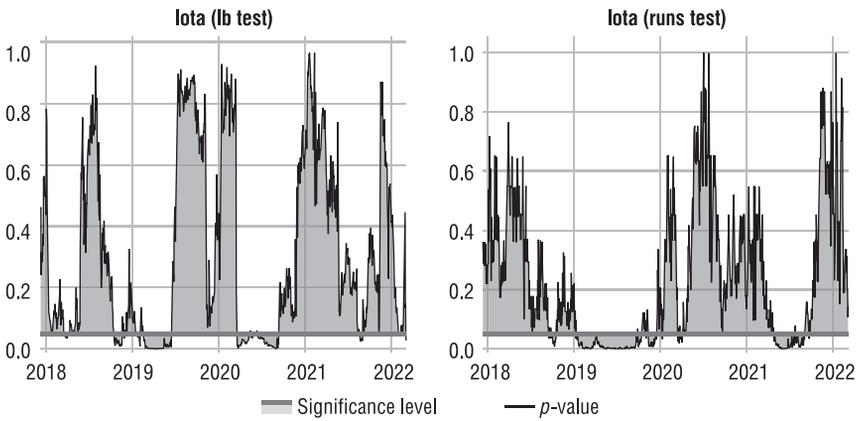


Рис. П10. Результаты тестов IOTA  
 Fig. A10. Results of IOTA Tests

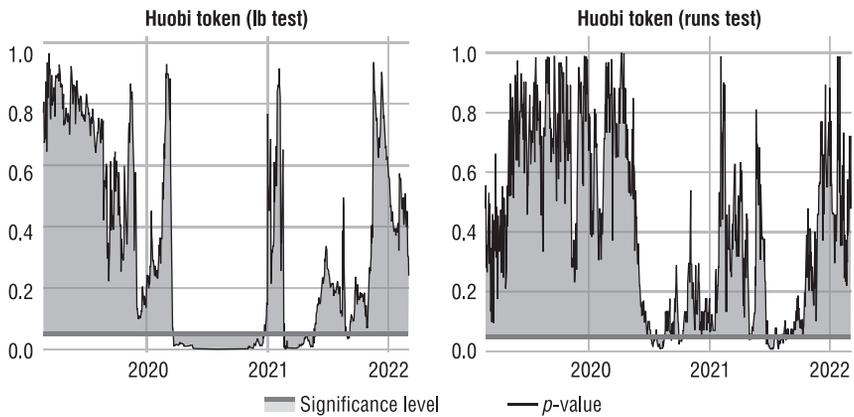


Рис. П11. Результаты тестов Huobi token  
 Fig. A11. Results of Huobi token Tests

## Литература

1. Криптовалюты: Тренды, риски, меры. М.: Банк России, 2022.
2. Синельникова-Мурылева Е. В., Шилов К. Д., Зубарев А. В. Сущность криптовалют: дескриптивный и сравнительный анализ // Финансы: теория и практика. 2019. Т. 23. № 6. С. 36–49.
3. Столбов М. И. К десятилетию рынка криптовалют: текущее состояние и перспективы // Вопросы экономики. 2019. № 5. С. 136–148.
4. Шилов К. Д., Зубарев А. В. Эволюция криптовалюты биткоин как финансового актива // Финансы: теория и практика. 2021. Т. 25. № 5. С. 150–171.
5. Adebola S. S., Gil-Alana L. A., Madigu G. Gold Prices and the Cryptocurrencies: Evidence of Convergence and Cointegration // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2019. Vol. 523. P. 1227–1236.
6. Al-Yahyaee K. H., Mensi W., Ko Hee-Un, Yoon Seong-Min, Kang Sang Hoon. Why Cryptocurrency Markets Are Inefficient: The Impact of Liquidity and Volatility // The North American Journal of Economics and Finance. 2020. Vol. 52. P. 101168.
7. Baur D. G., Hong K., Lee A. D. Bitcoin: Medium of Exchange or Speculative Assets? // Journal of International Financial Markets, Institutions and Money. 2018. Vol. 54. P. 177–189.
8. Bonsall S. B., Green J., Muller K. A. Market Uncertainty and the Importance of Media Coverage at Earnings Announcements // Journal of Accounting and Economics. 2020. Vol. 69. No 1. P. 101264.
9. Damodaran A. Market Efficiency - Definition, Tests, and Evidence // Investment Valuation Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset. Wiley, 2012. P. 111–153.
10. Fama E. F. Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work // The Journal of Finance. 1970. Vol. 25. No 2. P. 383–417.
11. Fama E. F. Efficient Capital Markets: II // The Journal of Finance. 1991. Vol. 46. No 5. P. 1575–1617.
12. Fama E. F. Random Walks in Stock Market Prices // Financial Analysts Journal. 1965. Vol. 21. No 5. P. 55–59.
13. Feng W., Wang Y., Zhang Z. Informed Trading in the Bitcoin Market // Finance Research Letters. 2018. Vol. 26. P. 63–70.
14. Gil-Alana L. A., Abakah E. J. A., Rojo M. F. R. Cryptocurrencies and Stock Market Indices. Are They Related? // Research in International Business and Finance. 2020. Vol. 51. P. 101063.
15. Global Crypto User Index 2021. Binance Research, 2021. [https://research.binance.com/static/pdf/Global\\_Crypto\\_Index\\_2021.pdf](https://research.binance.com/static/pdf/Global_Crypto_Index_2021.pdf).
16. Kyriazis N. A. A Survey on Efficiency and Profitable Trading Opportunities in Cryptocurrency Markets // Journal of Risk and Financial Management. 2019. Vol. 12. No 2. P. 67.
17. Liew J., Li R., Budavári T., Sharma A. Cryptocurrency Investing Examined // JBBA. The British Blockchain Association. 2019. Vol. 2. No 2. P. 1–12.
18. Lim K.-P., Brooks R. The Evolution of Stock Market Efficiency Over Time: A Survey of the Empirical Literature // Journal of Economic Surveys. 2011. Vol. 25. No 1. P. 69–108.
19. Ljung G. M., Box G. E. P. On a Measure of Lack of Fit in Time Series Models // Biometrika. 1978. Vol. 65. No 2. P. 297–303.
20. Lo A. W. The Adaptive Markets Hypothesis // The Journal of Portfolio Management. 2004. Vol. 30. No 5. P. 15–29.
21. Malladi R. K., Dheeriyaa P., Martinez J. N. Predicting Bitcoin Return and Volatility Using Gold and the Stock Market // Quarterly Review of Business Disciplines. 2019. Vol. 5. No 4. P. 357–373.
22. Mnif E., Jarbouli A. COVID-19, Bitcoin Market Efficiency, Herd Behaviour // Review of Behavioral Finance. 2021. Vol. 13. No 1. P. 69–84.

23. Noda A. On the Evolution of Cryptocurrency Market Efficiency // *Applied Economics Letters*. 2021. Vol. 28. No 6. P. 433–439.
24. Patil A. C., Rastogi S. Time-Varying Price — Volume Relationship and Adaptive Market Efficiency: A Survey of the Empirical Literature // *Journal of Risk and Financial Management*. 2019. Vol. 12. No 2. P. 105.
25. Pilbeam K. *Finance and Financial Markets*. London: Bloomsbury Publishing, 2018.
26. Rendleman R. J., Jones C. P., Latané H. A. Empirical Anomalies Based on Unexpected Earnings and the Importance of Risk Adjustments // *Journal of Financial Economics*. 1982. Vol. 10. No 3. P. 269–287.
27. Schwert G. W. Anomalies and Market Efficiency // *Handbook of the Economics of Finance*. 2003. Vol. 1. P. 939–974.
28. Seyhun N. H. *Investment Intelligence from Insider Trading*. Cambridge, MA: MIT Press, 2000.
29. *Shifting Cross-Asset Correlations*. Hong Kong: DBS Group Research, 2021.
30. Syed A. A., Liu P., Smith S. D. The Exploitation of Inside Information at the Wall Street Journal: A Test of Strong Form Efficiency // *The Financial Review*. 1989. Vol. 24. No 4. P. 567–579.
31. Urquhart A. The Inefficiency of Bitcoin // *Economics Letters*. 2016. Vol. 148. P. 80–82.
32. Vasileiou E. Behavioral Finance and Market Efficiency in the Time of the COVID-19 Pandemic: Does Fear Drive the Market? // *International Review of Applied Economics*. 2021. Vol. 35. No 2. P. 224–241.
33. Vidal-Tomás D., Ibañez A. Semi-Strong Efficiency of Bitcoin // *Finance Research Letters*. 2018. Vol. 27. P. 259–265.
34. Wald A., Wolfowitz J. On a Test Whether Two Samples Are From the Same Population // *The Annals of Mathematical Statistics*. 1940. Vol. 11. No 2. P. 147–162.

### References

1. Kriptovalyuty: Trendy, riski, mery [Cryptocurrencies: Trends, Risks and Regulation]. Moscow, Bank of Russia, 2022. (In Russ.)
2. Sinelnikova-Muryleva E. V., Shilov K. D., Zubarev A. V. Sushchnost' kriptovalyut: deskriptivnyy i sravnitel'nyy analiz [The Essence of Cryptocurrencies: Descriptive and Comparative Analysis]. *Finansy: teoriya i praktika [Finance: Theory and Practice]*, 2019, vol. 23, no. 6, pp. 36-49. (In Russ.)
3. Stolbov M. I. K desyatiletiyu rynka kriptovalyut: tekushchee sostoyanie i perspektivy [The Tenth Anniversary of the Cryptocurrency Market: Its Current State and Prospects]. *Voprosy ekonomiki*, 2019, no. 5, pp. 136-148. (In Russ.)
4. Shilov K. D., Zubarev A. V. Evolyutsiya kriptovalyuty bitkoin kak finansovogo aktiva [Evolution of Bitcoin as a Financial Asset]. *Finansy: teoriya i praktika [Finance: Theory and Practice]*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 150-171. (In Russ.)
5. Adebola S. S., Gil-Alana L. A., Madigu G. Gold Prices and the Cryptocurrencies: Evidence of Convergence and Cointegration. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2019, vol. 523, pp. 1227-1236.
6. Al-Yahyaee K. H., Mensi W., Ko Hee-Un, Yoon Seong-Min, Kang Sang Hoon. Why Cryptocurrency Markets Are Inefficient: The Impact of Liquidity and Volatility. *The North American Journal of Economics and Finance*, 2020, vol. 52, pp. 101168.
7. Baur D. G., Hong K., Lee A. D. Bitcoin: Medium of Exchange or Speculative Assets? *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 2018, vol. 54, pp. 177-189.
8. Bonsall S. B., Green J., Muller K. A. Market Uncertainty and the Importance of Media Coverage at Earnings Announcements. *Journal of Accounting and Economics*, 2020, vol. 69, no. 1, pp. 101264.

9. Damodaran A. Market Efficiency - Definition, Tests, and Evidence. In: *Investment Valuation Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset*. Wiley, 2012, pp. 111-153.
10. Fama E. F. Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *The Journal of Finance*, 1970, vol. 25, no. 2, pp. 383-417.
11. Fama E. F. Efficient Capital Markets: II. *The Journal of Finance*, 1991, vol. 46, no. 5, pp. 1575-1617.
12. Fama E. F. Random Walks in Stock Market Prices. *Financial Analysts Journal*, 1965, vol. 21, no. 5, pp. 55-59.
13. Feng W., Wang Y., Zhang Z. Informed Trading in the Bitcoin Market. *Finance Research Letters*, 2018, vol. 26, pp. 63-70.
14. Gil-Alana L. A., Abakah E. J. A., Rojo M. F. R. Cryptocurrencies and Stock Market Indices. Are They Related? *Research in International Business and Finance*, 2020, vol. 51, pp. 101063.
15. *Global Crypto User Index 2021*. Binance Research, 2021. [https://research.binance.com/static/pdf/Global\\_Crypto\\_Index\\_2021.pdf](https://research.binance.com/static/pdf/Global_Crypto_Index_2021.pdf).
16. Kyriazis N. A. A Survey on Efficiency and Profitable Trading Opportunities in Cryptocurrency Markets. *Journal of Risk and Financial Management*, 2019, vol. 12, no. 2, p. 67.
17. Liew J., Li R., Budavári T., Sharma A. Cryptocurrency Investing Examined. *JBBA, The British Blockchain Association*, 2019, vol. 2, no. 2, pp. 1-12.
18. Lim K.-P., Brooks R. The Evolution of Stock Market Efficiency Over Time: A Survey of the Empirical Literature. *Journal of Economic Surveys*, 2011, vol. 25, no. 1, pp. 69-108.
19. Ljung G. M., Box G. E. P. On a Measure of Lack of Fit in Time Series Models. *Biometrika*, 1978, vol. 65, no. 2, pp. 297-303.
20. Lo A. W. The Adaptive Markets Hypothesis. *The Journal of Portfolio Management*, 2004, vol. 30, no. 5, pp. 15-29.
21. Malladi R. K., Dheeriyá P., Martínez J. N. Predicting Bitcoin Return and Volatility Using Gold and the Stock Market. *Quarterly Review of Business Disciplines*, 2019, vol. 5, no. 4, pp. 357-373.
22. Mnif E., Jarbouí A. COVID-19, Bitcoin Market Efficiency, Herd Behaviour. *Review of Behavioral Finance*, 2021, vol. 13, no. 1, pp. 69-84.
23. Noda A. On the Evolution of Cryptocurrency Market Efficiency. *Applied Economics Letters*, 2021, vol. 28, no. 6, pp. 433-439.
24. Patil A. C., Rastogi S. Time-Varying Price-Volume Relationship and Adaptive Market Efficiency: A Survey of the Empirical Literature. *Journal of Risk and Financial Management*, 2019, vol. 12, no. 2, p. 105.
25. Pilbeam K. *Finance and Financial Markets*. London, Bloomsbury Publishing, 2018.
26. Rendleman R. J., Jones C. P., Latané H. A. Empirical Anomalies Based on Unexpected Earnings and the Importance of Risk Adjustments. *Journal of Financial Economics*, 1982, vol. 10, no. 3, pp. 269-287.
27. Schwert G. W. Anomalies and Market Efficiency. *Handbook of the Economics of Finance*, 2003, vol. 1, pp. 939-974.
28. Seyhun N. H. *Investment Intelligence From Insider Trading*. Cambridge, MA, MIT Press, 2000.
29. Shifting Cross-Asset Correlations. Hong Kong, DBS Group Research, 2021.
30. Syed A. A., Liu P., Smith S. D. The Exploitation of Inside Information at the Wall Street Journal: A Test of Strong Form Efficiency. *The Financial Review*, 1989, vol. 24, no. 4, pp. 567-579.
31. Urquhart A. The Inefficiency of Bitcoin. *Economics Letters*, 2016, vol. 148, pp. 80-82.
32. Vasileiou E. Behavioral Finance and Market Efficiency in the Time of the COVID-19 Pandemic: Does Fear Drive the Market? *International Review of Applied Economics*, 2021, vol. 35, no. 2, pp. 224-241.

33. Vidal-Tomás D., Ibañez A. Semi-Strong Efficiency of Bitcoin. *Finance Research Letters*, 2018, vol. 27, pp. 259-265.
34. Wald A., Wolfowitz J. On a Test Whether Two Samples Are From the Same Population. *The Annals of Mathematical Statistics*, 1940, vol. 11, no. 2, pp. 147-162.