

УДК 336.74

¹Э. Р. Хайруллина, ²Ф. М. Галимов

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, email: elm.khair@list.ru

²Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А. Н. Туполева-КАИ, г. Казань, email: far-galim@yandex.ru

ДИНАМИЧНЫЙ РОСТ КРИПТОВАЛЮТ: АНАЛОГИЯ С ЧЕРНОЙ ДЫРОЙ

Ключевые слова: биткойн, криптовалюты, эконофизика, отрицательная удельная теплота, термодинамическое неравновесие.

Данное исследование направлено на изучение того, существует ли механизм, который может описать взрывной рост количества торгуемых криптовалют и криптовалютного рынка в целом, используя аналогию между финансами и астрофизикой. В физике радиус Шварцшильда указывает на то, что черные дыры постоянно расширяются из-за увеличения их массы. Обогащая эту аналогию, мы рассматриваем криптовалютный рынок как самогравитирующее тело, масса которого обозначается количеством торгуемых криптовалют и с точки зрения роста рыночной капитализации для данного количества торгуемых криптовалют. Анализируя еженедельные данные всех торгуемых криптовалют с 4 января 2009 года по 14 июня 2020 года, мы находим доказательства существования вышеупомянутого механизма. Результаты ясно указывают на самогравитационное свойство криптовалютного рынка, что является прямым доказательством гипотезы о том, что изменения в торгуемых криптовалютах являются положительной функцией от количества торгуемых криптовалют в предыдущем периоде.

¹E. R. Khairullina, ²F. M. Galimov

¹Kazan National Research Technological University, Kazan, email: elm.khair@list.ru

²Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI, Kazan,
email: far-galim@yandex.ru

DYNAMIC GROWTH OF CRYPTOCURRENCIES: THE BLACK HOLE ANALOGY

Keywords: bitcoin, Cryptocurrencies, Econophysics, Negative specific heat, Thermodynamic disequilibrium.

This study aims to explore whether there is a mechanism that can describe the explosive growth of the number of traded cryptocurrencies and the cryptocurrency market, using an analogy between finance and astrophysics. In physics, the Schwarzschild radius indicates that black holes are constantly expanding due to their increasing mass. Enriching this analogy, we view the cryptocurrency market as a self-gravitating body whose mass is indicated by the number of traded cryptocurrencies and in terms of growth in market capitalization for a given number of traded cryptocurrencies. Analyzing weekly data of all traded cryptocurrencies from January 4, 2009, to June 14, 2020, we find evidence of the above mechanism. The results clearly indicate the self-gravitational property of the cryptocurrency market, which is a direct proof of the hypothesis that changes in traded cryptocurrencies are a positive function of the number of traded cryptocurrencies in the previous period.

Вселенная финансового рынка включает в себя широкий набор активов, которые предлагают потенциальным инвесторам практически бесчисленные инвестиционные возможности. Периодически появляются или разрабатываются новые финансовые активы и инструменты, что в итоге привлекает капитал и внимание. Последним примером является рынок криптовалют, который начался в 2009 году с экзотического, относительного и загадочного, но теперь хорошо известного биткойна [1]. Появ-

ление криптовалютного рынка заслужило быстро растущую и обширную научную литературу, о чем свидетельствует систематический анализ [2]. Однако это исследование не фокусируется на стандартных исследовательских вопросах, имеющих отношение к криптовалютному рынку, поскольку они склонны упускать из виду другие не менее важные явления. Корбет и др. отметили, что существуют как количественные, так и не количественные исследования криптовалютного рынка, причем по-

следние в основном посвящены вопросам регулирования, киберпреступности и эффективности [3-8]. Что касается количественного анализа, то, как показывают Корбет и др., многие существующие исследования криптовалют сосредоточены на эффективности рынка и пузырях ценообразования активов [3, 10-14]. Кроме того, другие области исследований, такие как необычно высокие доходы и высокая волатильность криптовалютного рынка, а также связанные с ними стадное поведение в целом хорошо известны как в научных кругах, так и на практике [15-20].

Однако непрофессионалы, скорее всего, не знают об экспоненциальном росте числа торгуемых криптовалют. Для оценки этого расширения можно рассмотреть следующее. В момент зарождения криптовалютного рынка количество криптовалют было равно единице и оставалось на этом уровне до 17 апреля 2011 года. Впоследствии количество торгуемых криптовалют начало стремительно расти, достигнув 4 августа 2013 года значения 50, к 26 октября 2014 года оно увеличилось до 500, а к 25 февраля 2018 года – до 1500; в настоящее время (по состоянию на 14 июня 2020 года) оно составляет 2670 торгуемых криптовалют (источник: CoinMarketCap). Другими словами, с момента своего рождения криптовалютный рынок продемонстрировал 266 900-процентный рост числа торгуемых валют. Трудно вспомнить другое экономическое и/или финансовое явление с эквивалентным темпом роста за десятилетие, возможно, за исключением Тюльпаномании (1619-1622) и Миссисипского пузыря (1716-1719).

Поэтому мы сосредоточились на механизме, который может описать наблюдаемое поведение взрывного роста числа торгуемых криптовалют, используя аналогию между финансами и астрофизикой, где новый криптовалютный рынок рассматривается как небесное тело, принадлежащее к вселенной финансовых активов. Согласно универсальному закону тяготения Ньютона, в физических системах тело оказывает на окружающее его пространство силу тяготения, пропорциональную его массе (т.е. тела с большей массой испытывают

большую гравитацию). Определенный класс тел, известный как самогравитирующие тела, имеет естественную тенденцию находиться в термодинамическом неравновесии из-за их отрицательного удельного тепла; таким образом, их гравитационная сила увеличивается, что приводит к спирали, где увеличение массы еще больше усиливает гравитационную силу [20,21].

Например, подобное явление наблюдается для черных дыр. Когда звезда умирает, она быстро коллапсирует внутрь. Тот факт, что излучение в ее ядре перестает существовать, приводит к тому, что гравитация давит в экстремальных объемах. В результате звезда взрывается в сверхновую, которая является катастрофическим выбросом ее внешнего материала, что приводит умирающую звезду к непрерывному коллапсу, пока она не превращается в сингулярность (нулевой объем, бесконечная плотность) [23,24]. Эти сингулярности являются мертвыми центрами черных дыр, что делает их «объектами» с экстремальными гравитационными объемами, которые могут даже искривлять пространство-время [25]. На краю черной дыры, или горизонте событий, как его называют, существует астрономическое замедление времени [26]. Карл Шварцшильд определил предел, при котором гравитация торжествует над другими физическими силами, создавая черную дыру [27]. Сегодня мы называем это число радиусом Шварцшильда, который выражается как:

$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

G – гравитационная постоянная, M – масса черной дыры, а c – скорость света. Радиус Шварцшильда указывает на то, что черные дыры постоянно расширяются из-за увеличения массы.

Для небесных тел определение массы понятно. Однако с точки зрения финансов/экономики определение соответствующей меры массы не является простым занятием. Поэтому мы рассматриваем криптовалютный рынок как самогравитирующее тело. Нашей первоначальной гипотезой было рассмотрение понятия массы на основе количества торгуемых активов, что соответствует экстенсивной

марже в экономической терминологии и измеряет горизонтальное расширение рынка. Однако вполне вероятно, что гравитационная сила может не только привести к созданию новых криптовалют, но и привлечь больше капитала к существующим криптовалютам. Для практической реализации этого понятия мы рассматриваем другой потенциальный показатель массы – рост рыночной капитализации для данного количества торгуемых криптовалют. Это объясняется тем, что помимо горизонтального расширения может существовать и вертикальное расширение. Чтобы отразить это вертикальное расширение, мы прибегаем к интенсивной марже в любой момент времени, определяемой как общая рыночная капитализация, деленная на общее количество торгуемых активов.

Если криптовалютный рынок демонстрирует возрастающую энтропию из-за отрицательного удельного тепла, то существует проверяемое следствие в его поведении. В частности, масса криптовалютного рынка, определяемая количеством торгуемых криптовалют (согласно нашей первой гипотезе относительно определения массы) в определенный момент времени, определяет его гравитационную силу. Тогда проверяемая гипотеза заключается в том, что при увеличении массы рынка (количества торгуемых криптовалют) сила гравитации увеличивается, и, следовательно, в следующем периоде рождается (торгуется) больше криптовалют. Соответственно, то же понятие и проверяемая гипотеза применимы ко второму определению массы, обозначаемому интенсивной маржей.

Несмотря на быстро растущую научную литературу о криптовалютах, насколько нам известно, такое явление формально не исследовалось. Именно этот пробел в научной литературе и призван заполнить наш анализ, исследуя и измеряя, существует ли механизм, который может описать взрывной рост числа торгуемых криптовалют [28].

Данные и эмпирическая методология
Данные представляют собой еженедельные фиксации всех торгуемых криптовалют с 4 января 2009 года по 14 июня 2020 года (источник: CoinMarketCap), всего 598 наблюдений. С 17 апреля

2011 года, когда появилась вторая криптовалюта, количество торгуемых криптовалют начало расти, как показано на рис. 1.

Mt обозначает количество криптовалют, торгуемых в момент времени t , где t охватывает период с 2009 по 2020 год с недельными интервалами, а ΔMt представляет собой изменение количества криптовалют.

На рисунке 2 показана интенсивная маржа, как рыночная капитализация, деленная на количество торгуемых криптовалют.

IMt обозначает рыночную капитализацию, деленную на количество криптовалют, торгуемых в момент времени t , где t охватывает период с 2013 по 2020 год с недельными интервалами, а $\Delta(IMt)$ – изменение.

На рис. 3 и 4 графики сглаживателя lowess показывают положительную связь между вышеупомянутыми параметрами.

Если криптовалютный рынок обладает свойством самогравитации, мы ожидаем, что его гравитационная сила увеличивается с ростом массы. Такое поведение выливается в проверяемую гипотезу, согласно которой изменение (ΔM_t) количества торгуемых криптовалют должно быть положительной функцией от количества торгуемых криптовалют за предыдущий период (M_{t-1}):

$$\Delta M_t = a + \beta * M_{t-1} + u_t, \quad (1)$$

где a и β – оцениваемые параметры, а u_t – хорошо управляемый член возмущения. Более того, наша предварительная оценка, совместимая с самогравитационным свойством, состоит в том, что $\beta > 0$. Таким образом, проверяемая гипотеза формулируется как:

$$H_0: \beta = 0,$$

$$H1: \beta > 0.$$

Соответственно, вторая проверяемая гипотеза заключается в том, что изменение ($\Delta(IM_t)$) рыночной капитализации, деленное на количество торгуемых криптовалют, должно быть положительной функцией предыдущего периода (IM_{t-1}):

$$\Delta(IM_t) = \gamma + \delta * IM_{t-1} + u_t, \quad (2)$$

где γ и δ – оцениваемые параметры, а u_t – хорошо поправимый член возмущения. В этом случае проверяемая гипотеза формулируется как

$$H_0: \delta=0,$$

$$H1: \delta>0.$$

Здесь $\beta=0$ означает, что рост торгуемых криптовалют не зависит от прошлого количества торгуемых криптовалют. Если $\beta>0$, то рост увеличивается по мере увеличения количества криптовалют предыдущего периода. То же самое относится ко второму понятию относительно массы и при $\delta=0$ и $\delta>0$.

Оценка и вывод для вышеуказанных неизвестных параметров является простым упражнением при условии, что переменные являются стационарными. Однако, как следует из предыдущего раздела, M_t и IM_t явно нестационарны; следовательно, стандартная асимптотическая теория неприменима. По совпадению, приведенные выше модели [уравнения (1) и (2)] идентичны стандартной формулировке Дики-Фуллера (Dickey and Fuller 1979).

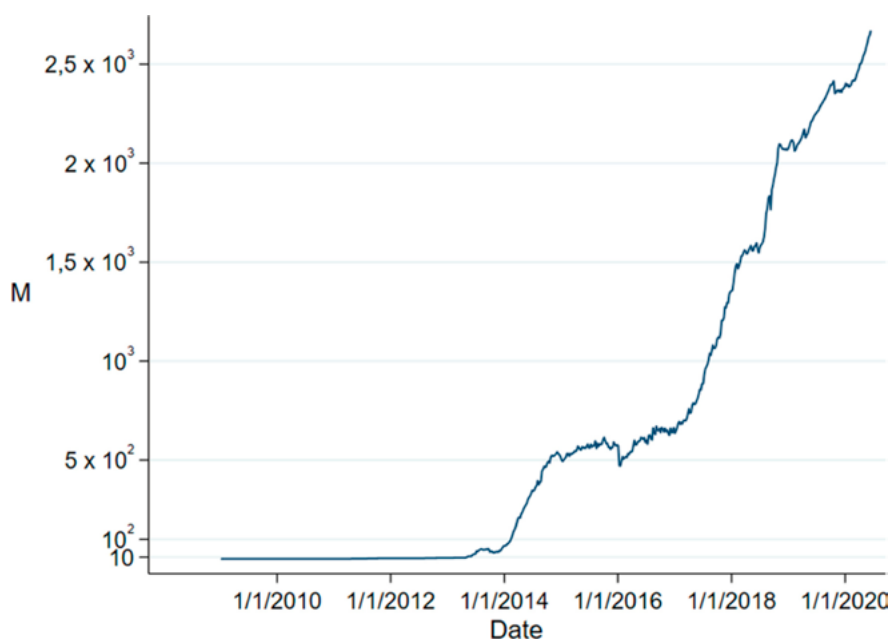


Рис. 1. Иллюстрация количества криптовалют по датам

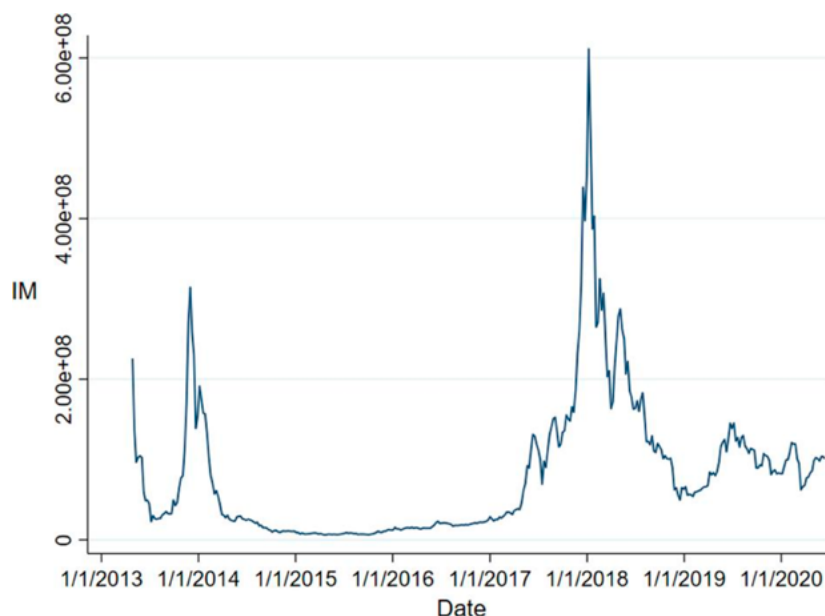


Рис. 2. Иллюстрация рыночной капитализации, разделенной на количество торгуемых криптовалют

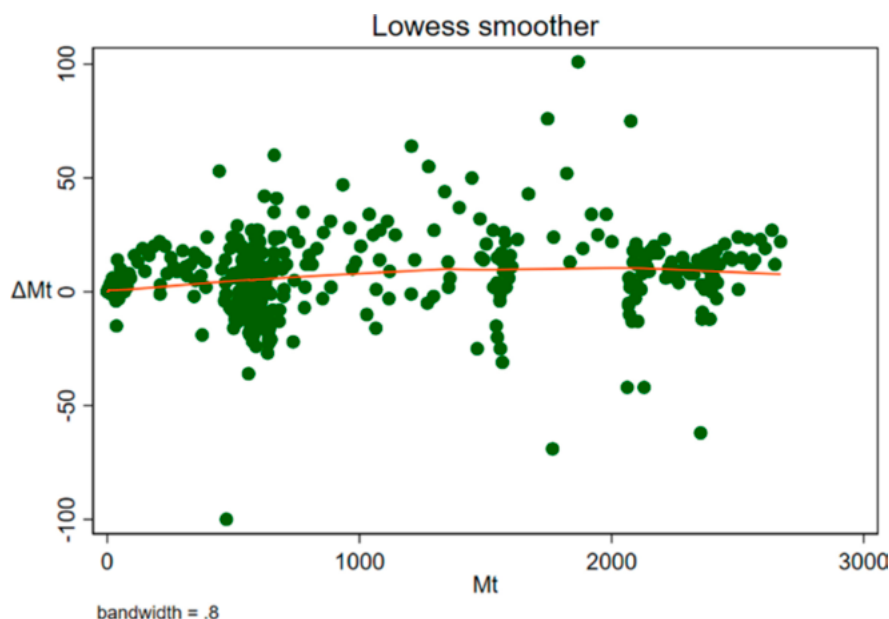


Рис. 3. График lowess smoother регрессирует рыночную капитализацию, деленную на количество торгуемых криптовалют IM_t , на ее изменение $\Delta(IM_t)$

Эмпирические результаты

Таблица 1

Результаты оценки $\Delta M_t = a + \beta * M_{t-1} + u_t$

	a	β
Коэффициент	1.5751* (0.7609)	0.0044*** (0.0007)
t-статистика	2.07	6.06
p значение	(0.039)	(0.000)
Наблюдатель (Obs)	R-квадрат	Скорректированный R-квадрат
597	0.0581	0.0565

Примечание: (***), (**), (*) означает, что коэффициент является значительным на уровне 1%, 5%, 10%.

Таблица 2

Результаты оценки $\Delta(IM_t) = \gamma + \delta * IM_{t-1} + u_t$

	γ	δ
Коэффициент	2,531,778 (1,545,242)	-0.0356** (0.013)
t-статистика	1.64	-2.74
p значение	(0.102)	(0.006)
Наблюдатель (Obs)	R-квадрат	Скорректированный R-квадрат
372	0.0199	0.0172

Уравнения (1) и (2) были использованы для оценки того, обладает ли криптовалютный рынок свойством самогравитации. Если да, то, как уже говорилось ранее, ожидается, что сила гравитации рынка будет увеличиваться с ростом его массы. В таблицах 1 и 2 представлены

результаты для наших моделей с использованием оценок методом обыкновенных наименьших квадратов.

В первой спецификации, где ΔM_t является зависимой переменной, мы обнаружили, что основной интересующий нас параметр (β) является положи-

тельным и статистически значимым на 1% уровне.

Во второй спецификации, где $\Delta(IM_t)$ является зависимой переменной, мы обнаруживаем, что основной интересующий нас параметр (δ) отрицателен и статистически значим на 5% уровне.

На основании уравнения (1), которое позволяет сделать вывод о стационарности M_t , наши результаты показывают, что прошлый уровень M_t оказывает положительное влияние на изменение количества криптовалют $\Delta(IM_t)$. Напротив, результаты уравнения (2) показывают, что прошлый уровень IM_t не только не оказывает положительного влияния, но и оказывает отрицательное влияние на $\Delta(IM_t)$, исходя из точечных оценок. Таким образом, исходя из наших эмпирических результатов, даже если рассмотренное выше представление правдоподобно, оно не работает. Более того, отрицательный знак указывает на то, что интенсивная маржа действует не только как гравитационная сила в том смысле, что больше капитала направляется к существующим криптовалютным активам. Однако даже если привлекается больше капитала, он распределяется по растущему числу активов. Таким образом, количество торгуемых валют является проявлением массы, а значит, наши результаты совместимы с представлением о том, что криптовалютный рынок обладает свойством самогравитации.

Выводы

Целью данного исследования было впервые, насколько нам известно, оценить, существует ли механизм, который может описать наблюдаемое поведение взрывного роста числа торгуемых криптовалют. Проверяемая гипотеза заключалась в том, что при увеличении массы рынка [количество торгуемых криптовалют

в уравнении (1) и рыночная капитализация в уравнении (2)] в следующем периоде создается (торгуется) больше криптовалют [уравнение (1)], и на рынок привлекается больше денег [уравнение (2)]. Анализ проводился на основе ежедневных данных о количестве существующих криптовалют, а также их рыночной капитализации.

Из наших результатов можно сделать вывод, что такой механизм существует. В ходе исследования был выявлен статистически значимый положительный коэффициент β (0,0044), указывающий на самогравитационное свойство, что является прямым доказательством гипотезы о том, что изменение $\Delta(IM_t)$ количества торгуемых криптовалют на самом деле является положительной функцией количества торгуемых криптовалют за предыдущий период (M_{t-1}). Кроме того, мы обнаружили статистически значимое отрицательное значение δ (–0,0356); это указывает на то, что интенсивная маржа не только действует как сила притяжения дополнительного капитала к существующим криптовалютным активам, но и является четким индикатором того, что новый капитал распределяется по растущему числу активов. Одно из возможных объяснений заключается в том, что рыночная капитализация и, соответственно, IM_t определяются только спросом, тогда как количество криптовалют, обозначаемое как M_t , учитывает как спрос, так и предложение. В целом эти результаты согласуются с нашей первоначальной аналогией о том, что криптовалютный рынок находится в состоянии термодинамического неравновесия.

Плодотворное и перспективное расширение этих результатов связано с улучшением измерения термодинамического неравновесия путем прямого использования мер энтропии.

Библиографический список

1. Nakamoto S. (2008) Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system. [Электронный ресурс]. URL: <https://metzdowd.com> (дата обращения: 19.07.2021).
2. Xu M., Chen X., Kou G. (2019) A systematic review of blockchain. *Financ Innov.* V. 5. P. 27. DOI: 10.1186/s40854-019-0147-z.
3. Corbet S., Lucey B., Yarovaya L. (2018) Datestamping the bitcoin and ethereum bubbles. *Finance Res Lett.* V. 26. P. 81–88. doi: 10.1016/j.frl.2017.12.006

4. Böhme R., Christin N., Edelman B., Moore T. (2015) Bitcoin: economics, technology, and governance. *J. Econ Perspect.* V. 29 (2). P. 213–238. doi: 10.1257/jep.29.2.213.
5. Chao X., Kou G., Peng Y., Alsaadi F.E. (2019) Behavior monitoring methods for trade-based money laundering integrating macro and micro prudential regulation: a case from China. *Technol Econ Dev Econ.* V. 25 (6). P. 1081–1096. doi: 10.3846/tede.2019.9383.
6. Li X., Jiang P., Chen T., Luo X., Wen Q. (2020) A survey on the security of blockchain systems. *Future Gener Comput Syst.* V. 107. P. 841–853. doi: 10.1016/j.future.2017.08.020.
7. Vandezande N. (2017) Virtual currencies under EU anti-money laundering law. *Comput Law Secur Rev.* V. 33 (3). P. 341–353. doi: 10.1016/j.clsr.2017.03.011.
8. Roth N. (2015) An architectural assessment of bitcoin: using the systems modeling language. *Procedia Comput Sci.* V. 44. P. 527–536. doi: 10.1016/j.procs.2015.03.066.
9. Corbet S., Lucey B.M., Urquhart A., Yarovaya L. (2019) Cryptocurrencies as a financial asset: a systematic analysis. *Int Rev Financ Anal.* V. 62. P. 182–199. doi: 10.1016/j.irfa.2018.09.003.
10. Urquhart A. (2016) The inefficiency of bitcoin. *Econ Lett.* V. 148. P. 80–82. doi: 10.1016/j.econlet.2016.09.019.
11. Vidal-Tomás D., Ibañez A. (2018) Semi-strong efficiency of bitcoin. *Finance Res Lett.* V. 27. P. 259–265. doi: 10.1016/j.frl.2018.03.013.
12. Wei W.C. (2018) Liquidity and market efficiency in cryptocurrencies. *Econ Lett.* V. 168. P. 21–24. / doi: 10.1016/j.econlet.2018.04.003.
13. Neves R.H. (2020) Bitcoin pricing: impact of attractiveness variables. *Financ Innov.* V. 6. P. 21. doi: 10.1186/s40854-020-00176-3.
14. Cheah E.-T., Fry J. (2015) Speculative bubbles in bitcoin markets? An empirical investigation into the fundamental value of bitcoin. *Econ Lett.* V. 130. P. 32–36. doi: 10.1016/j.econlet.2015.02.029.
15. Feng W., Wang Y., Zhang Z. (2018) Informed trading in the bitcoin market. *Finance Res Lett.* V. 26. P. 63–70. doi: 10.1016/j.frl.2017.11.009.
16. Katsiampa P. (2017) Volatility estimation for bitcoin: a comparison of garch models. *Econ Lett.* V. 158. P. 3–6. doi: 10.1016/j.econlet.2017.06.023.
17. Jalali M.H.M., Heidari H. (2020) Predicting changes in bitcoin price using grey system theory. *Financ Innov.* V. 6. P. 13. doi: 10.1186/s40854-020-0174-9.
18. Bouri E., Gupta R., Roubaud D. (2019) Herding behaviour in cryptocurrencies. *Finance Res Lett.* V. 29. P. 216–221. doi: 10.1016/j.frl.2018.07.008.
19. Ballis A., Drakos K. (2020) Testing for herding in the cryptocurrency market. *Finance Res Lett.* V. 33. P. 101210. doi: 10.1016/j.frl.2019.06.008.
20. Antonakakis N., Chatziantoniou I., Gabauer D. (2019) Cryptocurrency market contagion: market uncertainty, market complexity, and dynamic portfolios. *J. Int Financ Mark Inst Money.* V. 61. P. 37–51. doi: 10.1016/j.intfin.2019.02.003.
21. Thirring W. (1970) Systems with negative specific heat. *Z Physik.* V. 235. P. 339–352. doi: 10.1007/BF01403177.
22. Zia R.K.P., Præstgaard E., Mouritsen O.G. (2002) Getting more from pushing less: negative specific heat and conductivity in non-equilibrium steady states. *Am J. Phys.* V. 70. P. 384–392.
23. Woosley S.E., Weaver T.A. (1986) The physics of supernova explosions. *Ann Rev Astron Astrophys.* V. 24. P. 205–253. doi: 10.1146/annurev.aa.24.090186.001225.
24. Lohnes K. (2018) How do black holes really work? [Электронный ресурс]. URL: <https://www.britannica.com/story/how-do-black-holes-really-work> (дата обращения: 19.07.2021).
25. Hawking S.W. (1975) Particle creation by black holes. *Commun Math Phys.* V. 43. P. 199–220. doi: 10.1007/BF02345020.
26. Hawking S.W. (1973) Event horizon. Gordon and Breach, Science Publishers Inc., New York.
27. Schwarzschild K. (1916) On the gravitational field of a mass point according to Einstein's theory. *Sitzungsber.Preuss.Akad.Wiss.Berlin (Math.Phys.)*, P. 189–196.
28. Ballis A., Drakos K. The explosion in cryptocurrencies: a black hole analogy. *Financ Innov.* 2021. V. 7, 8. doi: 10.1186/s40854-020-00222-0.