

РАЗРАБОТКА СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СРЕДНЕСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КУРСА КРИПТОВАЛЮТ (НА ПРИМЕРЕ БИТКОИНА)

Марат Рашитович САФИУЛЛИН^a, Леонид Алексеевич ЕЛЬШИН^b,
Алия Айдаровна АБДУКАЕВА^c

^a доктор экономических наук, профессор, проректор по вопросам экономического и стратегического развития, Казанский федеральный университет, Казань, Российская Федерация
Marat.Safiullin@tatar.ru
orcid.org/0000-0003-3708-8184
SPIN-код: 8661-9318

^b кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики, Университет управления «ТИСБИ», Казань, Российская Федерация
Leonid.Elshin@tatar.ru
orcid.org/0000-0002-0763-6453
SPIN-код: 1059-7059

^c ведущий научный сотрудник, Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан, Казань, Российская Федерация
Aliya.Abdukaeva@tatar.ru
orcid.org/0000-0003-1262-5588
SPIN-код: 2538-6937

• Ответственный автор

История статьи:

Получена 20.04.2018
Получена в доработанном виде 04.05.2018
Одобрена 18.05.2018
Доступна онлайн 29.05.2018

УДК 336.76.066

JEL: F47, F63, G17

Ключевые слова: рынок криптовалюты, прогнозирование, моделирование временных рядов, стохастический анализ, биткоин

Аннотация

Предмет. Процесс экономико-математического моделирования временных рядов, характеризующих волатильность биржевого курса биткоина, на основе использования класса моделей авторегрессии скользящего среднего (ARMA).

Цели. Поиск и научное обоснование инструментов и механизмов разработки прогностических оценок развития рынка криптовалюты.

Методология. Применены инструменты стохастического анализа стационарных и нестационарных временных рядов.

Результаты. Использование класса моделей ARIMA в процессе моделирования параметров развития глобального рынка криптовалюты позволяет с высоким уровнем точности предсказывать не только текущие, но и будущие корректировки курса цифровых денег на период до трех – четырех месяцев.

Область применения. Результаты представляют практический интерес для органов государственной власти в сфере регулирования рынка криптовалюты и для представителей бизнес-сообщества.

Выводы. К концу III кв. 2018 г. биржевая стоимость биткоин составит порядка 11 000 долл. США. Используемые в исследовании методические подходы моделирования позволяют определить не только возможные будущие тренды, в фарватере которых будут происходить корректировки, но и колебания биржевых курсов на протяжении всего прогнозируемого периода времени.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2018

Для цитирования: Сафиуллин М.Р., Ельшин Л.А., Абдукаева А.А. Разработка стохастической модели среднесрочного прогнозирования курса криптовалют (на примере биткоина) // *Финансы и кредит*. — 2018. — Т. 24, № 5. — С. 1046 – 1060.
<https://doi.org/10.24891/fc.24.5.1046>

Сегодня наблюдается глубокая трансформация традиционного мира денег и финансов. Инновации в финансовом секторе, новые технологии, инструменты и системы влекут за собой серьезные и глубокие изменения привычных нам финансовых

* Публикация подготовлена в рамках поддержанного РФФИ научного проекта № 18-010-00536.

институтов. Одним из важнейших этапов этих трансформационных процессов стало появление криптовалют, сопровождаемое стремительным развитием связанных с ними технологий и отсутствием четкой картины будущего ландшафта экосистем.

На сегодняшний день в мире действует около 1 000 видов криптовалют. Ряд из них обладает высокой капитализацией, а ряд можно сравнить с мыльным пузырем. Так, например, капитализация биткоин на текущий момент времени составляет порядка 322 млрд долл. США (к примеру, годом ранее, в I кв. 2017 г., значение данного показателя составляло около 27 млрд долл.)¹.

Несмотря на более чем существенную динамику развития рынка цифровых денег в 2017 г., позиции большинства стран мира в отношении правовой природы криптовалют различаются. Так, некоторые страны согласны с ее статусом цифровой валюты, другие же не согласны с тем, что криптовалюты являются деньгами или валютой и рассматривают ее в качестве товара, нематериального актива, средства обмена [1].

Криптовалюты аналогично деньгам выступают посредническим инструментом в процессе рыночного обмена. Так, основная функция криптовалют на сегодняшний день — это оплата товаров и услуг или осуществление перевода средств (то есть как средство платежа или обмена)². При этом несмотря на то, что большое количество игроков рынка криптовалют используют их в качестве средства платежа или обмена при покупке-продаже товаров и услуг, расчетной единицей его признают немногие из них.

В то же время ряд игроков рынка криптовалют используют их в спекулятивных целях, осуществляя в них краткосрочные и долгосрочные инвестиции и зарабатывая на операциях ее купли/продажи. За время своего существования криптовалюта (в частности

биткоин) зарекомендовали себя, в целом, как выгодный объект для инвестирования и уровень доверия людей к ним становится все выше и выше³ [2–5]. Таким образом, можно считать, что указанная категория игроков в каком-то смысле использует криптовалюты как средство сбережения в целях дальнейшего получения дополнительного дохода.

И все же нужно учитывать, что рынок криптовалют сегодня, несмотря на долгосрочные ожидания поступательного роста их курса в силу ограниченности их выпуска — это рынок с высокой волатильностью, о чем свидетельствуют не только данные биржевых торгов, но и мнения авторитетных экспертов. Так, например, ведущий разработчик биткоина, в одном из интервью сказал, что на самом деле криптовалюта еще не вышла из стадии эксперимента⁴. С немалой долей скептицизма относится к криптовалютам, как средствам сбережения и глава компании JP Morgan Chase Джейми Даймон, называющий биткоин «кошмарным средством накопления», а американский предприниматель, крупнейший в мире и один из наиболее известных инвесторов Уоррен Баффетт считает его миражом⁵.

Несмотря на имеющие место скептические взгляды на рынок криптовалюты, спрос на финансовые инструменты, основанные на криптоплатформах, не ослабевает, а лишь стремительно набирает обороты. В связи с этим внимание к данному инструменту со стороны мирового сообщества, государственных регуляторов с каждым днем возрастает, о чем свидетельствует динамика легализации данного рынка в мире.

В целях выявления тенденции, демонстрирующей отношение стран к

³ Ельшин Л.А., Абдукаева А.А. Перспективы генерации деловой активности на основе использования цифровых денег // Методы, механизмы и факторы международной конкурентоспособности национальных экономических систем. Сборник статей Международной научно-практической конференции: в 2 частях. Уфа: Аэтерна, 2017. С. 91 – 94.

⁴ Из книги: Винья П., Кейси М. Эпоха криптовалют. Как биткоин и блокчейн меняют мировой экономический порядок. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2018. 432 с.

⁵ Там же.

¹ По данным сервиса Coin Market Cap.

² Ельшин Л.А., Абдукаева А.А. Финансовые инструменты активизации деловой активности: особенности и перспективы // Проблема риска в современных кризисных условиях мировой экономики. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа: Аэтерна, 2017. С. 74 – 77.

криптовалюте, а также для получения более подробного состояния правового статуса в различных странах был проведен анализ, отражающий статус криптовалюты за каждый квартал с 2013 по 2017 г. в 29 странах.

За основу принята следующая система оценок правового статуса криптовалют:

–1 — негативное отношение к криптовалютам / полный запрет;

0 — статус криптовалюты не определен;

0,5 — рассматривается вопрос о легализации;

1 — признана частными деньгами, товаром, активом;

2 — законодательно признана, облагается налогом.

Результаты представлены на *рис. 1* и *2*.

Реализованный анализ показывает, что в большинстве государств правовой статус криптовалют является дискуссионным и неурегулированным. Вместе с тем, несмотря на разнородность отношения национальных государств к рынку криптовалюты, последний, судя по данным из *рис. 2*, демонстрирует поступательный положительный тренд, вследствие набирающих обороты тенденций его легализации в различных странах мира (средние из полученных оценок за каждый квартал образуют временной ряд с ярко выраженным линейным трендом). Это позволяет сделать вывод о том, что с каждым анализируемым периодом уровень доверия мирового сообщества к криптовалютам растет.

Несмотря на впечатляющую динамику легализации и развития рынка криптовалюты в мире, следует констатировать, что рынок цифровых денег еще далек от своего окончательного созревания. Вместе с тем с учетом формирующегося подхода по отношению к криптовалюте в РФ, выраженного в активизации различных структур органов государственной власти в вопросе ее легализации и придания ей правового статуса, актуальность их функций как средства сбережения и накопления может приобрести новый окрас уже в самой

ближайшей перспективе. Достаточно отметить, что Министерство финансов РФ предложило включить криптовалюту в стратегию финансовой грамотности страны на 2017–2023 гг.⁶ В соответствии с позицией А. Силуанова внимательно изучается вопрос инвестирования в электронную валюту. И в данный момент здесь видится большой риск. Возможные последствия от вложения средств в нерегулируемый актив — это один из тех вопросов, о чем власти будут говорить в России до 2023 г.

Несомненно, с учетом крайне низкого уровня развития рынка криптовалют в РФ (если не сказать — зачаточный уровень) следует констатировать, что на текущий момент имеет место невысокий уровень востребованности со стороны бизнес-сообщества модели, позволяющей оценивать и прогнозировать будущие тенденции данного рынка [6]. Однако стоит упомянуть динамично растущий спекулятивный спрос на рынке, а также возросшую в последнее время активность со стороны государственных регуляторов в сфере легализации рынка криптовалюты в РФ, в связи с чем интерес и важность к подобному рода методологическому инструментарию приобретает повышенную актуальность. Достаточно отметить, что только в 2017 г. реализована целая серия крупных научно-исследовательских проектов на эту тему, к которым, к примеру, можно отнести такие исследования, как «Сценарное моделирование развития рынка криптовалют в Российской Федерации и его влияние на перспективы развития расчетов за авиатранспортные услуги в деятельности ПАО «Аэрофлот», реализованного для ПАО «Аэрофлот», «Законодательное регулирование внедрения и практического применения современных финансовых технологий». Анализ международного опыта и модальности адаптации в российской экономике» для Государственной думы Федерального Собрания РФ. В 2018 г. Аппарат Государственной думы РФ проводит тендер по исследованию способов нормативно-

⁶ Криптовалюту встречают в России с распростертыми объятиями. URL: https://mining-bitcoin.ru/news/kriptovalyuty-v-rossii?utm_referrer=https%3A%2F%2Fzen.yandex.com

правового регулирования применения технологии блокчейн на финансовом рынке.

Такого рода активизация по поставленной проблеме обусловлена во многом тем, что в конце 2017 г. Президент Российской Федерации утвердил поручение Правительству РФ в сфере регулирования рынка криптовалюты в национальной экономике⁷. В январе 2018 г. Министерством финансов РФ совместно с Банком России разработан и опубликован проект федерального закона «О цифровых финансовых активах»⁸.

Вместе с тем следует заметить, что на текущий момент времени, даже не смотря на экспоненциальный рост глобального рынка криптовалюты в последние годы, а также весьма серьезный уровень активизации со стороны государственных регуляторов в сфере поиска механизмов регулирования оборота криптовалюты, многими экономистами и государственными деятелями фактор его влияния на макроэкономическую и финансовую стабильность не рассматривается как значимый. Основой данного подхода является крайне низкий объем крипторынка в общем балансе платежной системы. К примеру, в Российской Федерации еженедельный оборот биткоина составляет всего 0,006% наличности и 0,001% денежной массы [7, 8].

Однако в обозримом будущем весьма вероятен сценарий, предусматривающий дальнейшую активизацию исследуемого рынка и его многоукладную интеграцию в национальные экономические системы, что обуславливает необходимость уже сегодня обратить на данный вопрос самое пристальное внимание научного и экспертного сообщества. Существенный вклад в ускоренный рост капитализации глобального рынка криптовалюты может внести не только его популяризация как прогрессивного инструмента, используемого в

транзакционных операциях, но и дальнейший рост обменного курса (как вследствие фактора, выраженного в ограниченной эмиссии криптовалюты (к примеру, эмиссия биткоина ограничена 21 млн ед.), так и в следствие спекулятивных процессов и в результате спекулятивных операций на криптобиржах) [9].

В связи с изложенным на текущий момент представляется крайне актуальной задача поиска и разработки специального инструментария, позволяющего предвидеть и прогнозировать корректировки обменных курсов современных цифровых денег.

Справедливости ради необходимо отметить, что сегодня в научном публикационном пространстве крайне редко можно встретить работы, посвященные этой тематике. Преимущественно вопросы исследовательского характера направлены либо на экспертную оценку текущих и предстоящих перспектив развития рассматриваемого рынка, либо на использование специальных методов биржевого технического анализа, раскрывающего особенности и тренды курсовых колебаний цифровых денег.

Важным также является и то, что в пространстве немногочисленных научных работ, посвященных вопросам развития рынка криптовалюты, практически нельзя встретить исследования, направленные на создание прогностических моделей роста уровня капитализации рынка цифровых денег на средне- и тем более долгосрочную перспективу. Отчасти это понятно и можно объяснить тем, что исследуемый рынок в силу своей молодости, а также исходя из его основной парадигмы развития, основывающейся на децентрализации процессов регулирования, отсутствии привязки его к так называемым базовым активам, зачастую не поддается интерпретации и моделированию на базе известных традиционных методов прогнозирования. Это в значительной степени осложняет процесс построения многофакторных экономико-математических моделей, формирующих потенциал прогнозирования на какую-либо отдаленную перспективу времени. Между тем,

⁷ Перечень поручений по итогам совещания по вопросу использования цифровых технологий в финансовой сфере. URL: <http://kremlin.ru/acts/assignments/orders/55899>

⁸ Проект федерального закона «О цифровых финансовых активах». URL: https://www.minfin.ru/ru/document/?id_4=121810

с учетом той динамики и скорости, с которой крипторынок интегрируется в систему глобального экономического оборота, подобного рода модели становятся все более актуальными и востребованными.

Если погрузиться в анализ существующих подходов в сложившейся практике, ориентированных на моделирование и прогнозирование биржевых курсов криптовалюты, можно отметить, что прогнозирование изменения курса является весьма нетривиальной задачей: использование фундаментального анализа для прогнозирования волатильности биржевых котировок неэффективно, так как курс не зависит от экономики определенной страны; применение технического анализа также неэффективно, поскольку невозможно определить состояние рынка в силу формирования спроса и предложения за счет лиц, готовых купить, либо продать определенные товары или услуги по всему миру [10–13].

Все же решение поставленного вопроса в части выработки инструментария, позволяющего предвидеть будущие корректировки в среднесрочной перспективе, необходимо и, на наш взгляд, возможно на основе использования моделей авторегрессии скользящего среднего (ARMA, ARIMA). Особую актуальность данный подход приобретает в условиях отсутствия на текущий момент эффективных инструментов прогнозирования курсовых колебаний подобного рода финансовых активов, характеризующихся неравномерностью колебаний курсов во времени, отсутствием привязки к базовым активам, высоким уровнем спекулятивного спроса и т.п.

Модели ARMA, ARIMA это — важный класс параметрических моделей, позволяющих описывать как стационарные, так и нестационарные ряды. Целью данной работы выступает выявление модели авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего с минимально необходимым порядком параметров, на основе которой можно совершать достоверные краткосрочные прогнозы волатильности криптовалюты [14].

Эмпирический и экспертный анализ продемонстрировал целесообразность использования в качестве объекта исследования — криптовалюту биткоин. Это обусловлено целым рядом причин, главные из которых:

- доминирующая доля в общей мировой капитализации криптовалют (около 45%);
- наиболее популярная криптовалюта, колебания курса которой всецело обуславливают волатильность абсолютного большинства других видов криптовалют на рынке.

Если вернуться к вопросам методологического характера, следует заметить, что использование рассматриваемых в работе моделей предполагает реализацию пяти основных итераций:

- 1) построение временного ряда;
- 2) проверка ряда на стационарность (в результате чего определяется класс используемой модели — ARMA или ARIMA);
- 3) подбор параметров модели;
- 4) оценка достоверности и адекватности построенной модели;
- 5) разработка прогностических параметров исследуемого временного ряда.

Процесс моделирования применительно к объекту исследования, рассматриваемому в настоящей работе, представлен с подробным изложением последовательности решаемых итераций.

Расчеты проведены для данных, отражающих месячные колебания криптовалюты биткоин в период с 01.01.2014 по 18.03.2018 (рис. 3). Источником данных послужил сервис виртуальных биткоин-кошельков «Blockchain.info». Расчеты проводились с помощью прогностического аналитического ПО Eviews, IBM SPSS.

Моделирование стационарных временных рядов или рядов, которые могут быть приведены к стационарным, может быть произведено при помощи класса моделей авторегрессии скользящего среднего (ARMA),

которая является комбинацией двух моделей: авторегрессии порядка p и скользящего среднего порядка q . В обобщенном виде модель ARMA (p, q) выглядит следующим образом:

$$Y_t = a_0 + a_1 X_{t-1} + a_2 X_{t-2} \dots + a_n X_{t-n} + \varepsilon_t - \beta_1 \varepsilon_{t-1} - \beta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \beta_n \varepsilon_{t-n}.$$

Для нестационарных данных Боксом и Дженкинсом предложена модель ARIMA (p, d, q), которая после взятия d последовательных разностей может быть приведена к стационарному виду [15], где p, d, q — структурные параметры, характеризующие порядок для соответствующих частей модели — авторегрессионной, интегрированной и скользящего среднего.

Методология подбора модели состоит из нескольких этапов.

Идентификация модели.

На первоначальном этапе исследования необходимо выяснить, обладает ли изучаемый ряд свойством стационарности.

Стационарный ряд — это ряд, поведение и свойства которого в настоящем и будущем совпадают с поведением в прошлом.

Оценка стационарности ряда может проводиться при помощи различных методов. Базовыми способами проверки стационарности BP является расширенный способ Дики-Фуллера, а также построение автокорреляционной функции (АКФ) и частной автокорреляционной функции (ЧАКФ). Расчет автокорреляционной функции производится по следующей формуле:

$$\rho_k = \frac{Y_k}{Y_0} = \frac{cov(k)}{var} = \frac{cov(y_t; y_{t-k})}{var(y_t)}; |\rho_k| \leq 1.$$

Частная автокорреляционная функция (PACF или ЧАКФ) определяется, как частная корреляция между значениями y_t и y_{t-k} — «очищенная» от влияния на них промежуточных переменных⁹.

⁹ Канторович Г.Г. Анализ временных рядов // Экономический журнал ВШЭ. 2002.

Для исходного ряда были построены АКФ и ЧАКФ (рис. 4).

Построенная АКФ характеризуется замедленным убыванием коэффициентов автокорреляционной функции по угасающей экспоненте от значения коэффициента, близкого к единице. ЧАКФ имеет высокое значение коэффициента автокорреляции на первом лаге и близкие к 0 значения на последующих лагах.

Таким образом, можно сделать вывод о нестационарности исходного временного ряда.

Кроме визуального анализа, для проверки стационарности временного ряда был проведен расширенный тест Дики—Фуллера (ADF-тест). Тест заключается в проверке нулевой гипотезы о наличии единичного корня в уравнении:

$$y_t = \alpha y_{t-1} + \varepsilon_t.$$

Решение о стационарности BP принимается в случае, если рассчитанные оценки теста больше статистики $t_{Набл.}$ ($t_{Крит.} > t_{Набл.}$). Результаты теста представлены на рис. 5.

Для исследуемого ряда $t_{Набл.} = -3,11$. Так как полученные значения при различных уровнях значимости (1, 5 и 10%) имеют значения меньше, чем $t_{Набл.}$, то принимается гипотеза о нестационарности BP .

Таким образом, моделирование курса биткоин было проведено на основе модели авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС или ARIMA).

1. Критерии подбора параметров модели.

После выбора модели необходимо подобрать параметры, а после взятия первой разности исходный ряд был приведен к стационарному виду, таким образом, параметр $d = 1$.

Для моделирования динамики изменения курса криптовалют были протестированы следующие модели ARIMA (1,1,1), ARIMA (1,1,2), ARIMA (2,1,0) ARIMA (2,1,1), ARIMA (2,1,2).

Основанием для выбора модели послужили построенные АКФ и ЧАКФ функции, а также

рассчитанные критерий Акаике (1) и байесовский информационный критерий (2).

Данные критерии позволяют выбрать наилучшую модель из группы моделей-претендентов. Преимущество отдается той модели, значения AIC и BIC которой минимальны. Расчет произведен по следующим формулам:

$$AIC = \ln \hat{\delta}^2 + \frac{2}{n} r; \quad (1)$$

$$BIC = \ln \hat{\delta}^2 + \frac{\ln n}{n} r, \quad (2)$$

где $(\hat{\delta}^2)$ — остаточная сумма квадратов, деленная на количество наблюдений;

r — общее количество слагаемых ARIMA-модели.

Модель ARIMA (2,1,1) имеет минимальные значения BIC и AIC критериев.

Таким образом, итоговая модель приняла следующий вид:

$$\Delta X = 17,849 + 0,047 \Delta X_{t-1} - 0,296 \Delta X_{t-2} - 1,602 \varepsilon_{t-1} - 0,845 \varepsilon_{t-2} + \varepsilon_t.$$

2. Получение прогнозных значений.

При помощи полученной модели был спрогнозирован курс криптовалюты биткоин на четыре точки вперед. Результаты прогноза приведены на *рис. 6*.

Показатели, свидетельствующие о качестве полученной модели отображены на *рис. 7*.

Достоверность и адекватность полученных результатов были подтверждены сопоставлением фактических и прогностических параметров курса биткоин, а также на основании высокого значения R-квадрат (*рис. 8*).

Как видно из представленного графика, предсказанные значения с высокой точностью описывают предстоящие корректировки, что подтверждается крайне высоким уровнем предсказанной ежедневной смены трендов. Вместе с тем, несомненно, наблюдаются и незначительные расхождения между

абсолютными значениями рядов, что вполне допустимо и укладывается в рамки прогностической погрешности.

Итак, в соответствии с полученными прогнозными оценками динамика курса биткоин в ближайшие четыре месяца примет устойчивый положительный тренд (*рис. 9*).

К концу III кв. 2018 г. его биржевая стоимость составит порядка 11 000 долл. США. Важно при этом заметить, что используемые в настоящем исследовании методические подходы моделирования позволяют определить не только возможные будущие тренды, в фаворите которых будут происходить корректировки, но и колебания биржевых курсов на протяжении всего прогнозируемого периода времени. Ожидающаяся небольшая корректировка в мае 2018 г. будет носить несущественный характер и не повлияет сколь-либо значимым образом на в целом положительный прогнозируемый тренд в рамках анализируемого периода времени.

Полученные результаты во многом свидетельствуют о перспективности выбранного инструментария прогнозирования, основанного на использовании алгоритмов авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего. Однако необходимо отметить, что построенная модель требует дальнейшего совершенствования. Так, к примеру, в связи с высокой изменчивостью исследуемого ряда представляется целесообразным применение моделей стохастической волатильности.

При подведении итога реализованным оценкам и разработанному методическому инструментарию необходимо отметить весьма высокий уровень его перспективности в рамках моделирования бизнес-процессов, основанных на использовании криптовалютных транзакций. Это связано в первую очередь с острой необходимостью понимания и предсказания биржевых курсов криптовалюты, поскольку ее использование в хозяйственном обороте формирует весьма высокие риски финансовых потерь хозяйствующих субъектов, что вызвано значительной волатильностью [16].

С учетом изложенного предлагаемые в исследовании методологические подходы в значительной степени расширяют возможности предвидения и прогнозирования параметров развития рынка цифровых денег на период от трех до четырех месяцев, что формирует устойчивые основы для выработки среднесрочных моделей поведения экономических агентов, участвующих в процессе криптовалютных транзакций. Кроме того, тенденции последних месяцев, характеризующиеся активизацией процессов

легализации рынка криптовалюты в мире, в том числе и в России, актуализируют необходимость прогнозирования исследуемого рынка на более далекие горизонты времени, чем это принято в большинстве моделей технического анализа, являющегося неотъемлемой частью генерации аналитических оценок на бирже. Представленный методический подход, как показывают расчеты, способен решать столь важные и значимые для сегодняшней экономики вопросы.

Рисунок 1

Анализ правового статуса криптовалют

Figure 1

Analysis of the legal status of cryptocurrencies

Страна	2013				2014				2015				2016				2017		
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
Российская Федерация	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Германия	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Хорватия	0	0,5	0,5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Дания	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Швеция	0	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Южная Корея	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2	2
Япония	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2	2	2	2	2	2	2
Таиланд	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Китай	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
США	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Сингапур	0	0	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Болгария	0	0	0,5	0,5	0,5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Норвегия	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Украина	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Франция	0	0	0	-1	-1	-1	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Индия	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Австралия		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
Бельгия	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Канада	0	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
Хорватия	0,5	0,5	0,5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Кипр	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Дания	0	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Гонконг	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Израиль	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1
Япония	0	0	0	-1	-1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2	2	2	2	2	2	2
Новая Зеландия	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1
Словения	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Испания	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Великобритания	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Болгария	0	0	0	0,5	0,5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 2

Средние оценки правового статуса криптовалют (график сформирован на основе данных рис. 1)

Figure 2

Average rating of the legal status of cryptocurrencies (the graph is generated on the basis of Fig. 1 data)



Источник: авторская разработка

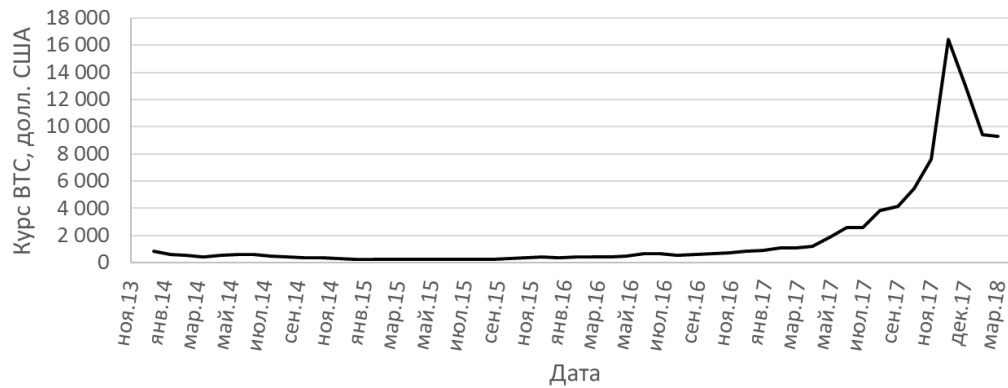
Source: Authoring

Рисунок 3

Динамика курса биткоин, по месяцам в долл. США

Figure 3

Trends in the bitcoin exchange rate, by months, in USD



Источник: Blockchain. URL: <https://blockchain.info>

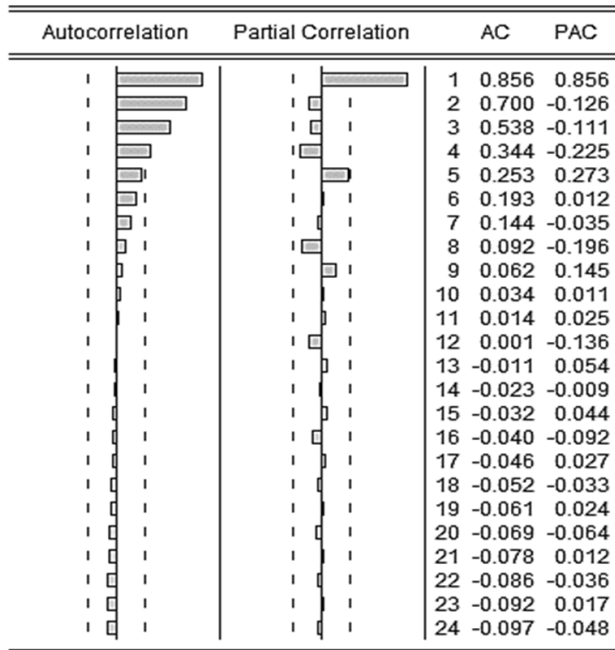
Source: Blockchain. URL: <https://blockchain.info>

Рисунок 4

Автокорреляционная функция (Autocorrelation), частная автокорреляционная функция (Partial Correlation)

Figure 4

Autocorrelation function (Autocorrelation), private autocorrelation function (Partial Correlation)



Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 5

Результаты ADF- теста

Figure 5

ADF test results

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	3.110313	1.0000
Test critical values:		
1% level	-3.588509	
5% level	-2.929734	
10% level	-2.603064	

Источник: авторская разработка

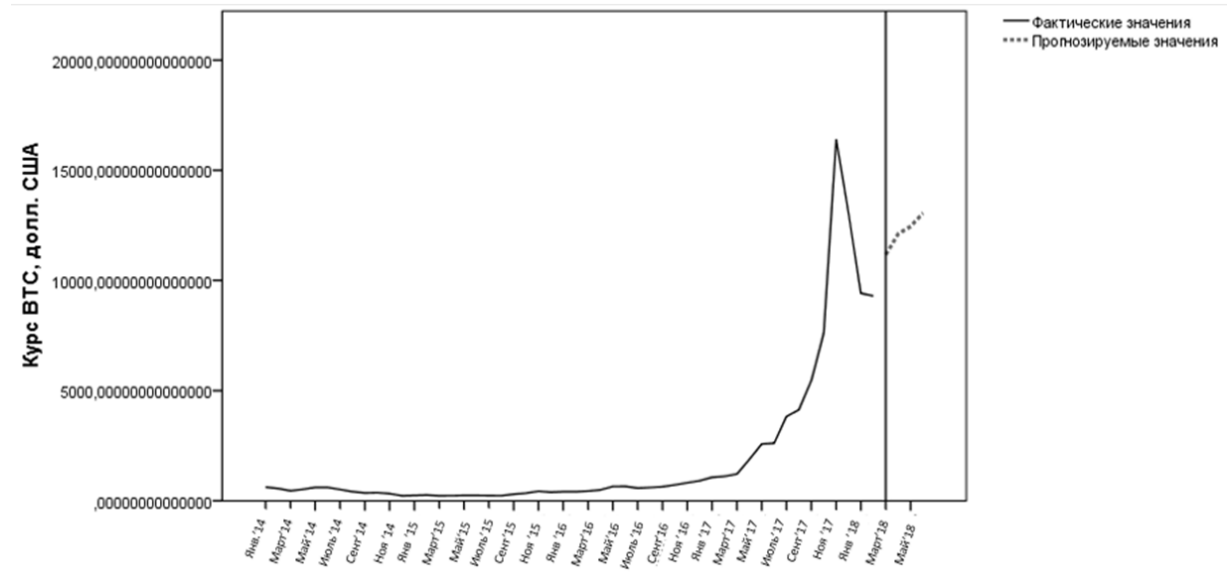
Source: Authoring

Рисунок 6

Прогнозные значения курса биткоин, полученные с помощью ARIMA (2,1,1)

Figure 6

Predicted values of bitcoin exchange rate obtained using ARIMA (2,1,1)



Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 7

Качественные характеристики модели

Figure 7

Qualitative characteristics of the model

Статистика подгонки	Среднее значение
Стационарный R-квадрат	,871
R-квадрат	,999
КСКО	165,930
СОМО	4,182
МОМО	39,607
СМО	102,682
ММО	634,788

Источник: авторская разработка

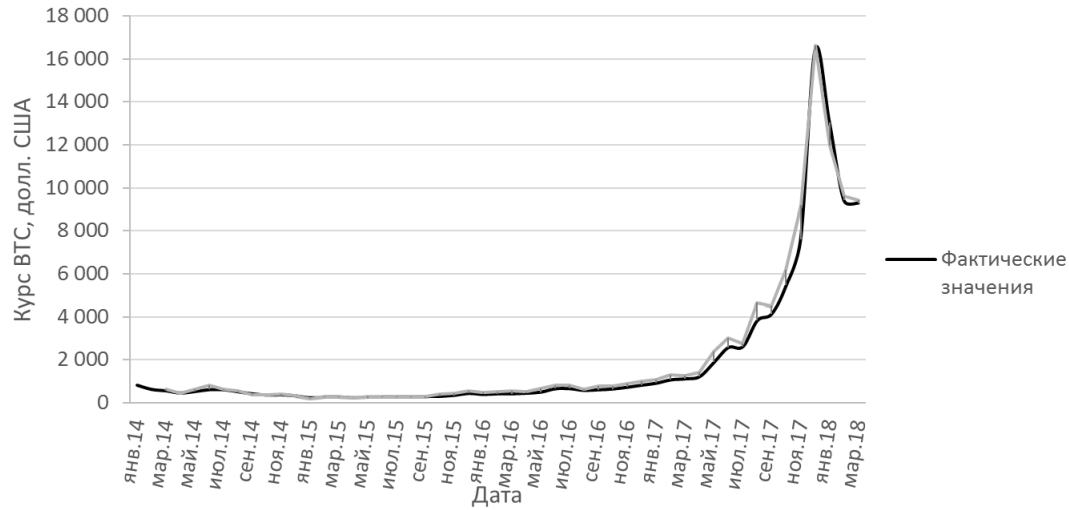
Source: Authoring

Рисунок 8

Сходимость прогностических и фактических данных, оценивающих биржевой курс bitcoin/USD

Figure 8

Convergence of predicted and actual data evaluating the bitcoin/USD exchange rate



Источник: авторская разработка

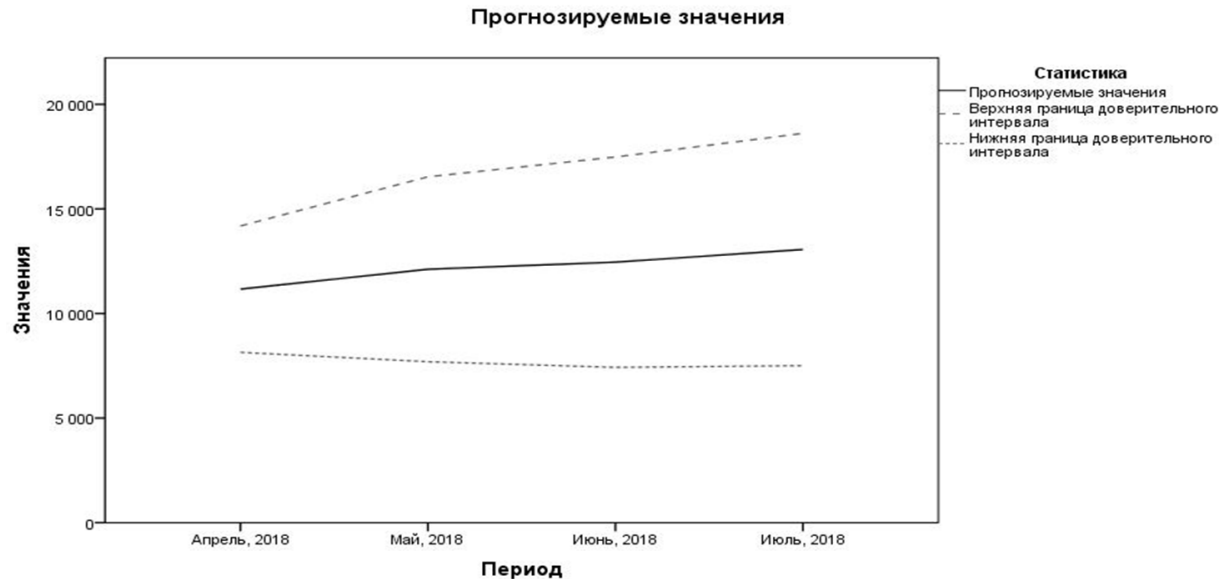
Source: Authoring

Рисунок 9

Предсказанные значения

Figure 9

Predicted values



Прогнозные значения:
 апрель 2018= 11 165,04
 май 2018= 12 115,45
 июнь 2018= 12 453,88
 июль 2018= 13 058,348

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Список литературы

1. Lo S., Wang C.J. Bitcoin as money? *Federal Reserve Bank of Boston: Current Policy Perspectives*, 2014, no. 2014-4. URL: <https://www.bostonfed.org/publications/current-policy-perspectives/2014/bitcoin-as-money.aspx>
2. Li X., Wang Ch.A. The technology and economic determinants of cryptocurrency exchange rates: The case of Bitcoin. *Decision Support Systems*, 2017, vol. 95, pp. 49–60.
3. Nakamoto S. Bitcoin: A peer- to- peer electronic cash system. Bitcoin.org. 2008. URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
4. Bouoiyour J., Selmi R. Bitcoin price: Is it really that new round of volatility can be on way? Munich Pers. RePEc Arch, 2015. URL: <https://mpira.ub.uni-muenchen.de/id/eprint/65580>
5. Hayes A.S. Cryptocurrency value formation: An empirical study leading to a cost of production model for valuing bitcoin. *Telematics and Informatics*, 2017, vol. 34, iss. 7, pp. 1308–1321.
6. Kim K.J., Hong S.P. Study on Rule- based Data Protection System Using Blockchain in P2P Distributed Networks. *International Journal of Security and its Application*, 2016, vol. 10, no. 11, pp. 201–210
7. Luther W. Cryptocurrencies, Network Effects, and Switching Costs. *Contemporary Economic Policy*, 2016, no. 34(3), pp. 553–571. URL: <https://doi.org/10.1111/coep.12151>.
8. Vranken H. Sustainability of bitcoin and blockchains. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2017, vol. 28, pp. 1–9.
9. Wang H., He D., Ji Y. Designated-verifier proof of assets for bitcoin exchange using elliptic curve cryptography. *Future Generation Computer Systems*, 2017. URL: <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.06.028>
10. Wilson M., Yelowitz A. Characteristics of Bitcoin users: an analysis of Google search data. URL: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2518603>
11. Bariviera A.F., Basgall M.J., Hasperu e W., Naiouf M. Some stylized facts of the Bitcoin market. *Physica A: Statistical Mechanics and its Application*, 2017, vol. 484, pp. 82–90. URL: <https://doi-org.lcproxy.shu.ac.uk/10.1016/j.physa.2017.04.159>
12. White L.H. The market for cryptocurrencies. *Cato Journal*, 2015, vol. 35, iss. 2, pp. 383–402.
13. Cheah E.T., Fry J. Speculative bubbles in Bitcoin markets? An empirical investigation into the fundamental value of Bitcoin. *Economics Letters*, 2015, vol. 130, pp. 32–36. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.econlet.2015.02.029>
14. Perron P. Further Evidence on Breaking Trend Functions in Macroeconomic Variables. *Journal of Econometrics*, 1997, vol. 80, iss. 2, pp. 355–385.
15. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. М.: Мир, 1974.
16. Granger C.W.J., King M.L., White H. Comments on the Testing of Economic Theories and the Use of Model Selection Criteria. *Journal of Econometrics*, 1995, vol. 67, iss. 1, pp. 173–187.

Информация о конфликте интересов

Мы, авторы данной статьи, со всей ответственностью заявляем о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

DEVELOPING A STOCHASTIC MODEL FOR MEDIUM-TERM FORECASTING OF CRYPTOCURRENCY EXCHANGE RATE: THE BITCOIN CASE

Marat R. SAFIULLIN^{a,*}, Leonid A. EL'SHIN^b, Aliya A. ABDUKAEVA^c

^a Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation
Marat.Safiullin@tatar.ru
orcid.org/0000-0003-3708-8184

^b University of Management TISBI, Kazan, Zelenodolsk, Republic of Tatarstan, Russian Federation
Leonid.Elshin@tatar.ru
orcid.org/0000-0002-0763-6453

^c Center of Advanced Economic Research in the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation
Aliya.Abdukaeva@tatar.ru
orcid.org/0000-0003-1262-5588

• Corresponding author

Article history:

Received 20 April 2018
Received in revised form
4 May 2018
Accepted 18 May 2018
Available online
29 May 2018

JEL classification: F47, F63,
G17

Keywords: cryptocurrency
market, forecasting,
time series modeling,
stochastic analysis, bitcoin

Abstract

Importance The article considers the process of economic and mathematical modeling of time series characterizing the volatility of bitcoin exchange rate on the basis of autoregressive moving average models.

Objectives The purpose of the work is to provide a scientific rationale for tools and mechanisms to forecast the cryptocurrency market development.

Methods The study rests on tools of stochastic analysis of stationary and non-stationary time series characterizing the volatility in the global cryptocurrency market.

Results We prove that ARIMA models enable to predict current and future adjustments of cryptocurrency exchange rates with a high level of accuracy.

Conclusions and Relevance We found that by the end of the third quarter of 2018, the bitcoin market value will be about 11,000 USD. The methodological approaches of modeling help define future trends and fluctuations of exchange rates over the entire forecast period. The findings are of practical interest for both the public authorities and representatives of business community.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2018

Please cite this article as: Safiullin M.R., El'shin L.A., Abdukaeva A.A. Developing a Stochastic Model for Medium-Term Forecasting of Cryptocurrency Exchange Rate: The Bitcoin Case. *Finance and Credit*, 2018, vol. 24, iss. 5, pp. 1046 – 1060.
<https://doi.org/10.24891/fc.24.5.1046>

Acknowledgments

The paper is supported by the Russian Foundation for Basic Research, project No. 18-010-00536.

References

1. Lo S., Wang C.J. Bitcoin as Money? *Federal Reserve Bank of Boston: Current Policy Perspectives*, 2014, no. 2014-4.
2. Li X., Wang Ch.A. The Technology and Economic Determinants of Cryptocurrency Exchange Rates: The Case of Bitcoin. *Decision Support Systems*, 2017, vol. 95, pp. 49–60.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2016.12.001>
3. Nakamoto S. Bitcoin: A Peer- to-Peer Electronic Cash System. URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>

4. Bouoiyour J., Selmi R. Bitcoin Price: Is it Really that New Round of Volatility Can Be on Way? *MPRA Paper*, 2015. URL: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/id/eprint/65580>
5. Hayes A.S. Cryptocurrency Value Formation: An Empirical Study Leading to a Cost of Production Model for Valuing Bitcoin. *Telematics and Informatics*, 2017, vol. 34, iss. 7, pp. 1308–1321. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tele.2016.05.005>
6. Kim K.J., Hong S.P. Study on Rule-based Data Protection System Using Blockchain in P2P Distributed Networks. *International Journal of Security and its Application*, 2016, vol. 10, iss. 11, pp. 201–210. URL: <https://doi.org/10.14257/ijasia.2016.10.11.18>
7. Luther W. Cryptocurrencies, Network Effects, and Switching Costs. *Contemporary Economic Policy*, 2016, no. 34(3), 553–571. URL: <https://doi.org/10.1111/coep.12151>
8. Vranken H. Sustainability of Bitcoin and Blockchains. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2017, no. 28, pp. 1–9. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.04.011>
9. Wang H., He D., Ji Y. Designated-Verifier Proof of Assets for Bitcoin Exchange Using Elliptic Curve Cryptography. *Future Generation Computer Systems*, 2017. URL: <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.06.028>
10. Wilson M., Yelowitz A. Characteristics of Bitcoin Users: An Analysis of Google Search Data. URL: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2518603>
11. Bariviera A.F., Basgall M.J., Hasperu  W. et al. Some Stylized Facts of the Bitcoin Market. *Physica A: Statistical Mechanics and its Application*, 2017, vol. 484, pp. 82–90. URL: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.04.159>
12. White L.H. The Market for Cryptocurrencies. GMU Working Paper in Economics, 2014, no. 14-45, 27 p. URL: <https://doi.org/10.2139/ssrn.2538290>
13. Cheah E.T., Fry J. Speculative Bubbles in Bitcoin Markets? An Empirical Investigation into the Fundamental Value of Bitcoin. *Economics Letters*, 2015, no. 130, pp. 32–36. URL: <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2015.02.029>
14. Perron P. Further Evidence on Breaking Trend Functions in Macroeconomic Variables. *Journal of Econometrics*, 1997, vol. 80, iss. 2, pp. 355–385. URL: [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(97\)00049-3](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(97)00049-3)
15. Box G., Jenkins G., Reinsel G. *Analiz vremennykh ryadov. Prognoz i upravlenie*. [Time Series Analysis: Forecasting and Control]. Moscow, Mir Publ., 1974.
16. Granger C.W.J., King M.L., White H. Comments on Testing Economic Theories and the Use of Model Selection Criteria. *Journal of Econometrics*, 1995, vol. 67, iss. 1, pp. 173–187. URL: [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01632-A](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01632-A)

Conflict-of-interest notification

We, the authors of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.