

УДК 631.1:004.9

Краткое сообщение



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-167-171

Н.Л. Красюкова

Финансовый университет при
Правительстве Российской
Федерации, Москва, Россия

✉ NLKrasnyukova@fa.ru

Поступила в редакцию: 06.04.2025

Одобрена после рецензирования: 16.05.2025

Принята к публикации: 30.05.2025

© Красюкова Н.Л.

Short communications



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-167-171

Natalia L. Krasnyukova

Financial University under
the Government of the Russian
Federation, Moscow, Russia

✉ SGEremin@fa.ru

Received by the editorial office: 06.04.2025

Accepted in revised: 16.05.2025

Accepted for publication: 30.05.2025

© Krasnyukova N.L.

Использование блокчейн-технологии и больших данных для обеспечения прослеживаемости и устойчивости агропродовольственных цепочек поставок

РЕЗЮМЕ

Данная статья посвящена исследованию потенциала применения блокчейна и анализа больших данных для повышения прослеживаемости и устойчивости агропродовольственных цепочек поставок. Рассматривается проблема недостаточной прозрачности и надежности информации об источниках происхождения, качестве и безопасности сельскохозяйственной продукции. Предлагается концептуальная модель интеграции блокчейн-платформы и методов интеллектуального анализа данных для формирования децентрализованной системы регистрации и верификации информации о продуктах питания «от поля до прилавка». На основе эмпирических данных, полученных в ходе экспертного опроса и моделирования бизнес-процессов, обосновывается организационно-экономический механизм имплементации предложенного подхода. Делается вывод, что использование блокчейна и больших данных способно существенно увеличить доверие потребителей, сократить транзакционные издержки, минимизировать риски фальсификации, содействовать внедрению ответственных практик и реализации целей устойчивого развития в агропродовольственном секторе.

Ключевые слова: блокчейн, большие данные, прослеживаемость, агропродовольственные цепочки поставок, устойчивое развитие

Для цитирования: Красюкова Н.Л. Использование блокчейн-технологии и больших данных для обеспечения прослеживаемости и устойчивости агропродовольственных цепочек поставок. *Аграрная наука*. 2025; 395(06): 167–171

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-167-171>

Using blockchain technology and big data to ensure the traceability and sustainability of agri-food supply chains

ABSTRACT

This article explores the potential of blockchain and big data analytics for enhancing traceability and sustainability in agri-food supply chains. It addresses the challenges of insufficient transparency and reliability in tracking the origin, quality, and safety of agricultural products. The study proposes a conceptual model integrating blockchain platforms with intelligent data analysis methods to create a decentralized system for recording and verifying food product information “from farm to fork.” Based on empirical data from expert surveys and business process modeling, the research substantiates the organizational and economic mechanisms for implementing this approach. The findings suggest that blockchain and big data technologies can significantly increase consumer trust, reduce transaction costs, minimize fraud risks, promote responsible practices, and contribute to sustainable development goals in the agri-food sector.

Keywords: blockchain, big data, traceability, agri-food supply chains, sustainable development

For citation: Krasnyukova N.L. Using blockchain technology and big data to ensure the traceability and sustainability of agri-food supply chains. *Agrarian science*. 2025; 395(06): 167–171 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-167-171>

Введение/Introduction

Проблема обеспечения прослеживаемости и устойчивости агропродовольственных цепочек поставок в условиях глобализации и цифровизации экономики приобретает всё большую актуальность [1]. Участившиеся случаи фальсификации продуктов питания, сокрытия информации об их происхождении и качественных характеристиках негативно влияют на доверие потребителей и создают угрозы для здоровья населения [2]. Одновременно повышаются требования к соблюдению принципов ответственного производства и потребления, минимизации экологического следа, социальной инклюзии в рамках Целей устойчивого развития ООН [3]. Существующие централизованные системы сертификации и контроля демонстрируют недостаточную эффективность ввиду высокой стоимости, уязвимости к коррупции и манипуляциям данными [4].

В этих условиях закономерен интерес исследователей и практиков к возможностям использования технологии распределенных реестров (блокчейна) и продвинутой аналитики больших данных для трансформации бизнес-моделей и регуляторных механизмов агропродовольственного сектора [5]. Блокчейн позволяет формировать неизменяемую и прозрачную запись обо всех этапах создания добавленной стоимости — от производственных операций до логистики и ритейла [6]. Большие данные, генерируемые датчиками интернета вещей, транзакционными системами и платформами E-commerce, дают богатую фактологическую базу для выявления закономерностей в поведении участников цепочки поставок [7].

Несмотря на наличие многообещающих пилотных проектов и прототипов в данной области [8], комплексные научные исследования организационно-экономических аспектов имплементации блокчейна и больших данных в агропродовольственном секторе практически отсутствуют.

Цели статьи — разработка концептуальной модели использования этих технологий для обеспечения прослеживаемости и устойчивости агропродовольственных цепочек поставок и эмпирическая оценка перспектив ее практического применения.

В задачи исследования входят:

- анализ основных барьеров и драйверов использования блокчейна и больших данных в агропродовольственном секторе;
- построение референтной архитектуры системы прослеживаемости агропродовольственных цепочек на базе блокчейна;
- разработка методики интеллектуального анализа больших данных для верификации информации о происхождении и качестве продуктов питания;

- эмпирическая проверка предложенной модели на основе экспертного опроса и моделирования бизнес-процессов.

Решение поставленных задач имеет существенную теоретическую и практическую значимость. Предлагаемая модель развивает научные представления о потенциале конвергентных цифровых технологий в трансформации сложноорганизованных кросс-отраслевых систем. Ее апробация создает основу для масштабирования лучших практик на национальном и глобальном уровнях, что будет способствовать достижению Целей устойчивого развития ООН.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Для достижения цели исследования применяется комплексная методология, сочетающая концептуальное моделирование, анализ вторичных данных, экспертный опрос ($n = 25$) и симуляционное моделирование бизнес-процессов.

На первом этапе на основе систематического обзора литературы в базах данных Web of Science, Scopus, РИНЦ по ключевым словам blockchain, big data, «агропродовольственные цепочки поставок», «прослеживаемость» за 2017–2022 гг. (43 источника) и экспертных интервью выделяются критические барьеры и ключевые факторы успеха проектов по использованию блокчейна и больших данных в агропродовольственном секторе.

Для обеспечения репрезентативности выборка экспертов ($n = 25$) формируется с учетом их профессионального бэкграунда (представители бизнеса, науки, органов власти)¹, опыта участия в релевантных проектах и географического охвата (Северная Америка, Европа, Азиатско-Тихоокеанский регион, Латинская Америка, Африка и Ближний Восток). Используется метод полуструктурированных интервью (12 вопросов).

На втором этапе разрабатывается референтная архитектура блокчейн-системы прослеживаемости агропродовольственных цепочек поставок. В качестве базового фреймворка выступает эталонная модель СКМ (производитель — переработчик — дистрибьютор — ритейлер — потребитель). Моделируются ключевые роли участников, правила валидации транзакций, алгоритмы консенсуса, структуры данных и смарт-контрактов. Обосновывается выбор оптимального протокола блокчейна с учетом требований к производительности, безопасности и масштабируемости системы.

Далее формируется методика интеллектуального анализа больших данных, необходимых для верификации информации о происхождении и качестве продукции. Определяются типы, источники и методы сбора первичных данных (IoT-сенсоры, мобильные приложения, открытые платформы). Предлагаются алгоритмы

¹ Формирование выборки экспертов проводили в соответствии с методикой целевой выборки для качественных исследований [Паттон М.К. Качественная оценка и исследовательские методы. М.: Дело. 2003].

предобработки и очистки данных, их интеграции с блокчейн-реестром. Обосновывается выбор методов машинного обучения (деревья решений, нейронные сети, SVM) для построения предиктивных моделей выявления рисков и аномалий. Для эмпирической проверки подхода разрабатывается прототип на базе выбранного фреймворка (Hyperledger Fabric) и открытых наборов данных (IBM Food Trust¹, AgriOpenData², США). С использованием методов имитационного моделирования (Plant Simulation, США) оцениваются сценарии внедрения блокчейн-системы в бизнес-процессы предприятий агропродовольственного сектора различных типов. Рассчитываются показатели производительности, стоимости и времени обработки транзакций, точности верификации качества продукции.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Исследование выявило значительный потенциал использования блокчейн-технологии и больших данных для обеспечения прослеживаемости и устойчивости агропродовольственных цепочек поставок. Экспертный опрос подтвердил высокую актуальность проблемы: 92% респондентов отметили растущее давление со стороны потребителей и регуляторов в части повышения прозрачности информации о происхождении и качестве продуктов питания. При этом 78% указали на недостаточную эффективность существующих систем сертификации и контроля.

Статистический анализ показал, что ключевыми барьерами внедрения блокчейна и больших данных в агросекторе являются высокие начальные затраты (отметили 84% экспертов), дефицит компетенций (76%), необходимость трансформации бизнес-процессов (72%), проблемы интеграции с унаследованными ИТ-системами (64%). В то же время драйверами выступают давление со стороны потребителей и НКО (92%), ужесточение регулирования (88%), примеры успешных проектов (80%), снижение стоимости технологий (76%).

Разработанная референтная архитектура блокчейн-системы прослеживаемости основана на эталонной модели СКМ. Она предполагает регистрацию в распределенном реестре всех ключевых событий жизненного цикла продукта с возможностью верификации каждого этапа с помощью смарт-контрактов. Узлами сети выступают производители, переработчики, логисты, ретейлеры, сертифицирующие органы. Оптимальным протоколом с точки зрения сочетания надежности и производительности признан Hyperledger Fabric.

Предложена методика интеллектуального анализа больших данных для автоматизированной проверки соответствия фактических

характеристик продукта заявленным в блокчейне. Она включает: сбор данных от сенсоров, накладных, маркировки, платформ e-коммерции; очистку и предобработку; интеграцию с блокчейном; применение алгоритмов ML для выявления аномалий.

На тестовых выборках достигнута точность классификации некондиционной продукции на уровне 0,94 (F1-мера). Имитационное моделирование показало, что внедрение блокчейн-системы способно сократить время обработки запросов на 70–80%, снизить операционные издержки на 30–40%, повысить точность верификации качества до 90–95%. При этом критичны сетевые эффекты: преимущества реализуются только при подключении большинства участников цепочки, что требует значительных координационных усилий на начальном этапе.

Таблица 1. Сравнение ключевых показателей эффективности до и после внедрения блокчейн-системы

Table 1. Comparison of key performance indicators before and after the implementation of the blockchain system

Показатель	Традиционная модель	Блокчейн-система
Время обработки запроса, дн.	7–14	1–2
Операционные издержки* (обработка документов, верификация, аудит), тыс. руб.	100–150	60–100
Точность верификации качества	0,6–0,7	0,9–0,95

Примечание: * включает затраты на обработку документооборота, верификацию данных, проведение аудита, административные расходы.

Экспертный опрос выявил высокую готовность бизнеса и потребителей к трансформации цепочек поставок на базе блокчейна и больших данных (табл. 2). Большинство респондентов (72–80%) рассматривают эти технологии как стратегический приоритет и готовы участвовать в совместных проектах. Потребители ожидают радикального повышения прозрачности (92%) и более ответственного поведения брендов (88%).

Таблица 2. Готовность стейкхолдеров поддержать внедрение блокчейна и больших данных

Table 2. Stakeholders' readiness to support the implementation of blockchain and big data

Уровень поддержки	Бизнес, %	Потребители, %
Безусловно за	56	64
Скорее за	24	28
Нейтрально	12	8
Скорее против	8	0

При этом выявлены значимые отраслевые различия (рис. 1). Наибольший интерес к технологиям демонстрируют производители фруктов и овощей (92%), животноводы (88%), аквакультура (84%). Для зерновых (68%) и масличных (56%) культур эффект менее очевиден. Учет этой специфики

² IBM Food Trust. — URL: <https://www.ibm.com/blockchain/solutions/food-trust> (дата обращения: 03.06.2025).

³ AgriOpenData Platform. — URL: <https://www.agriopendata.it> (дата обращения: 03.06.2025).

необходим при проектировании цифровой трансформации агропродовольственного сектора.

Регрессионный анализ панельных данных за 2017–2022 гг. подтвердил наличие положительной связи между инвестициями в блокчейн и большие данные и ключевыми показателями эффективности агрокомпаний (табл. 3). При увеличении затрат на эти технологии на 1% рентабельность продаж в среднем возрастает на 0,38%, а производительность труда — на 0,54% ($p < 0,01$). Это свидетельствует об окупаемости инвестиций и стимулирует бизнес к цифровизации.

Таблица 3. Результаты регрессионного анализа панельных данных

Table 3. Results of panel data regression analysis

Переменные	Рентабельность активов	Производительность труда
Затраты на блокчейн	0,38*** (0,11)	0,54*** (0,09)
Затраты на Big Data	0,26*** (0,06)	0,39*** (0,11)
Контрольные переменные	да	да
Фиксированные эффекты	да	да
Количество наблюдений	1200	1200
R2	0,18	0,22

Примечание: *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$ (в скобках приведены стандартные ошибки).

Полученные результаты подтверждают ключевые положения концепции технологических инноваций [2], теории транзакционных издержек [5], сетевого подхода [6]. В то же время выявлены новые эффекты и закономерности, связанные с сетевой природой ценности в блокчейн-системах, важностью комплементарных нетехнологических инноваций, спецификой агропродовольственного сектора. Это открывает перспективы для дальнейшего концептуального синтеза.

Выводы/Conclusions

Исследование подтверждает высокую актуальность и значительный потенциал использования блокчейн-технологии и больших данных для повышения прослеживаемости, эффективности и устойчивости агропродовольственных цепочек

Рис. 1. Интерес к блокчейну и большим данным в разных отраслях агросектора

Fig. 1. Interest in blockchain and big data in different branches of the agricultural sector



поставок. Предложенная референтная архитектура блокчейн-системы и методика интеллектуального анализа данных позволяют комплексно решать проблемы прозрачности информации о происхождении и качестве продуктов питания. Имитационное моделирование и экспертный опрос подтвердили возможность радикального (на 70–80%) сокращения времени обработки запросов, существенного (на 30–40%) снижения операционных издержек, значимого (до 90–95%) повышения точности верификации качества продукции. Эконометрический анализ панельных данных выявил устойчивую положительную связь между инвестициями в блокчейн и большие данные и ключевыми показателями эффективности агропредприятий (прирост рентабельности на 0,38% и производительности труда на 0,54% на каждый 1% увеличения затрат на технологии).

Полученные результаты вносят вклад в развитие теории цифровой трансформации отраслевых экосистем, концепции сетевой ценности, подходов к управлению устойчивыми цепочками поставок. На практике они открывают возможности для обоснованного проектирования блокчейн-решений, тиражирования лучших практик, разработки дорожных карт цифровизации агропродовольственного сектора на уровне компаний, регионов и отраслей.

Автор несет ответственность за работу и представленные данные.
Автор несет ответственность за плагиат.
Автор объявил об отсутствии конфликта интересов.

The author is responsible for the work and the submitted data.
The author is responsible for plagiarism.
The author declared no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Aung M.M., Chang Y.S. Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives. *Food Control*. 2014; 39: 172–184. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.11.007>
- Behnke K., Janssen M.F.W.H.A. Boundary conditions for traceability in food supply chains using blockchain technology. *International Journal of Information Management*. 2020; 52: 101969. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.025>
- Casino F., Kanakaris V., Dasaklis T.K., Moschuris S., Rachaniotis N.P. Modeling food supply chain traceability based on blockchain technology. *IFAC-PapersOnLine*. 2019; 52(13): 2728–2733. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.620>
- Galvez J.F., Mejuto J.C., Simal-Gandara J. Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2018; 107: 222–232. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.08.011>

5. Kamilaris A., Fonts A., Prenafeta-Boldú F.X. The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *Trends in Food Science & Technology*. 2019; 91: 640–652.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.034>
6. Kayikci Y., Subramanian N., Dora M., Bhatia M.S. Food supply chain in the era of Industry 4.0: Blockchain technology implementation opportunities and impediments from the perspective of people, process, performance, and technology. *Production Planning & Control*. 2022; 33(2–3): 301–321.
<https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1810757>
7. Mondal S., Wijewardena K.P., Karuppuswami S., Kriti N., Kumar D., Chahal P. Blockchain Inspired RFID-Based Information Architecture for Food Supply Chain. *IEEE Internet of Things Journal*. 2019; 6(3): 5803–5813.
<https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2907658>
8. Zhao G. *et al.* Blockchain technology in agri-food value chain management: A synthesis of applications, challenges and future research directions. *Computers in Industry*. 2019; 109: 83–99.
<https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.04.002>

ОБ АВТОРАХ**Наталья Львовна Красюкова**доктор экономических наук, профессор
NLKrasnyukova@fa.ruФинансовый университет при Правительстве
Российской Федерации,
пр-т Ленинградский, 49/2, Москва, 125167, Россия**ABOUT THE AUTHORS****Natalia Lvovna Krasnyukova**Doctor of Economics, Professor
NLKrasnyukova@fa.ruFinancial University under the Government
of the Russian Federation,
49/2 Leningradsky Ave., Moscow, 125167, Russia


AGROCON
Найди себя в АГРО**Крупнейшая межуниверситетская
выставка-форум АПК для
молодёжи****agrocon.pro****17 ОКТЯБРЯ** | ул. МИКЛУХО-МАКЛАЯ, д.6
РУДН

Реклама