

Возможности применения блокчейн-технологий в сфере здравоохранения

А.В. Кавешников, Д.С. Брагин, В.Х. Ваизов, В.С. Кавешников

*НИИ кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра РАН
634012, г. Томск, ул. Киевская, 111а*

Резюме

Статья посвящена анализу возможностей использования блокчейн-технологий (БТ) для решения отраслевых задач в области здравоохранения. Первоначально созданные для поддержки криптовалютных операций, БТ обладают рядом ключевых характеристик, включая защиту записей от изменений, прозрачность транзакций, децентрализованную архитектуру. Эти свойства обуславливают значительный потенциал БТ для применения в медицинской сфере. Основные области применения включают такие направления, как управление медицинскими данными, телемедицина, фармацевтическая логистика, клинические исследования и медицинское страхование. В рамках управления медицинскими данными БТ способствуют решению проблем фрагментации и безопасности данных, обеспечивая единый доступ к электронным медицинским картам. Примеры успешных проектов, таких как Guardtime и Medicalchain, демонстрируют эффективность БТ для хранения и обмена данными. В рамках телемедицины блокчейн гарантирует безопасность удаленных консультаций, как показано в проектах Patientory и Robomed Network. В фармацевтике технология помогает отслеживать цепочки поставок и противодействовать контрафакту, что реализовано в платформах Mediledger и Blockpharma. Перспективы развития БТ в здравоохранении остаются многообещающими, особенно в сочетании с такими направлениями, как персонализированная медицина и искусственный интеллект. Однако, несмотря на преимущества БТ, их внедрение сталкивается с рядом проблем, включая высокую стоимость, энергозатратность, трудности масштабирования и законодательные барьеры. Кроме того, важным аспектом является необходимость «культурной адаптации» к данным технологиям среди медицинских работников и пациентов. В заключение, блокчейн-технологии обладают значительным потенциалом для трансформации здравоохранения, но их успешное внедрение требует решения технических, организационных и нормативных вопросов, а также активного участия всех заинтересованных сторон.

Ключевые слова: блокчейн, технологии, медицинская информационная система, медицинские данные, электронная медицинская карта.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Автор для переписки. Кавешников В.С., e-mail: kaveshnikov29@yandex.ru

Для цитирования. Кавешников А.В., Брагин Д.С., Ваизов В.Х., Кавешников В.С. Возможности применения блокчейн-технологий в сфере здравоохранения. *Сиб. науч. мед. ж.* 2025;45(5):78–90. doi: 10.18699/SSMJ20250507

The possibilities of blockchain technologies application in the healthcare sector

A.V. Kaveshnikov, D.S. Bragin, V.Kh. Vaizov, V.S. Kaveshnikov

*Cardiology Research Institute of Tomsk National Research Medical Center of the RAS
634012, Tomsk, Kievskaya st., 111a*

Abstract

The article is addressed to analysis of possibilities and prospects for integration of blockchain technologies (BT) in the healthcare sector. BT, originally developed for cryptocurrencies, offers unique advantages such as decentralization, data immutability, transparency and security, which makes it especially relevant for medical sphere. Key applications include medical data management, telemedicine, pharmaceutical logistics, clinical research, and health insurance. In medical data management, BT solves the problems of data fragmentation and security by providing unified access to electronic medical records and protecting them from unauthorized access. Examples of successful projects such as

Guardtime and Medicalchain demonstrate efficiency of BT application for data storage and exchange. In telemedicine, blockchain guarantees security of remote consultations, as shown in the Patientory and Robomed Network projects. In the pharmaceutical industry, these technologies help to track supply chains and combat counterfeiting, which is implemented in the Mediledger and Blockpharma platforms. The prospects for the development of BT in healthcare remain promising, especially in combination with areas such as personalized medicine and artificial intelligence. However, despite the advantages of BT, their implementation faces a number of challenges, including high cost, energy consumption, scalability difficulties, and legislative barriers. In addition, an important aspect is the need to achieve «cultural adaptation» to these technologies among medical professionals and patients. In conclusion, blockchain technologies have significant potential to transform healthcare, but their successful implementation requires addressing technical, organizational, and regulatory issues, as well as the active participation of all stakeholders.

Key words: blockchain, technologies, medical information system, medical data, electronic medical record.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Correspondence author. Kaveshnikov V.S., e-mail: kaveshnikov29@yandex.ru

Citation. Kaveshnikov A.V., Bragin D.S., Vaizov V.Kh., Kaveshnikov V.S. The possibilities of blockchain technologies application in the healthcare sector. *Sibirskij nauchnyj medicinskij zhurnal* = *Siberian Scientific Medical Journal*. 2025;45(5):78–90. [In Russian]. doi: 10.18699/SSMJ20250507

Введение

В последние годы технология блокчейн (blockchain) (БТ) привлекла значительное внимание в различных отраслях, включая здравоохранение. Блокчейн, первоначально разработанный для совершения операций с криптовалютой Bitcoin, является децентрализованным реестром, в котором записанные данные не могут быть изменены, что особенно важно в медицинской сфере, где конфиденциальность и защита информации являются приоритетными. Цифровизация здравоохранения РФ является важнейшей задачей на ближайшую перспективу. БТ могут значительно изменить управление медицинскими данными (МД), повысить степень защиты персональной информации, оптимизировать логистику фармацевтических поставок, клинических исследований, расширить возможности телемедицины [1–3].

По данным аналитического агентства Research Nester, мировой рынок блокчейна в здравоохранении в 2025 г. ожидается на уровне 2,34 млрд, а к концу 2037 г. превысит 1,35 трлн долларов. Основными драйверами внедрения БТ в мире и нашей стране являются рост объема и утечек данных в медицинской сфере, увеличение потребности в усиленной защите данных, повышение расходов на цифровую трансформацию [4]. Современный период характеризуется экспоненциальным ростом объемов данных в здравоохранении с прогнозируемыми темпами увеличения на 48 % ежегодно. Этот беспрецедентный рост сопровождается значительной трансформацией профиля киберугроз, выражающейся в учащении и масштабировании атак на

медицинские информационные системы. Особую озабоченность вызывает стремительное внедрение медицинских устройств с интегрированными модулями интернета вещей (IoT). Согласно аналитическим прогнозам, их количество будет устойчиво увеличиваться в ближайшие годы. Исследования кибербезопасности свидетельствуют, что более 80 % используемых в здравоохранении IoT-устройств содержат критические уязвимости, делающие их потенциальными целями для киберпреступников. В нашей стране проблемы кибербезопасности приобретают еще большую актуальность. Число атак на Россию в последнее время возросло тысячекратно [5]. Очевидно, что традиционные подходы к обеспечению информационной безопасности больше не удовлетворяют актуальным требованиям защиты МД в условиях экспоненциально растущих массивов информации и киберугроз [6]. Данные обстоятельства диктуют необходимость пересмотра существующих парадигм управления МД и перехода к более совершенным технологическим решениям.

Настоящее исследование направлено на анализ литературы, адресованной современным возможностям применения БТ в здравоохранении. Поиск релевантных публикаций осуществлялся в базах данных PubMed и eLIBRARY.RU с использованием тематических запросов: в русскоязычной базе применялись сочетания терминов «блокчейн» с «медицина» или «здравоохранение», в англоязычной – «blockchain» с «healthcare» или «medicine». Всего идентифицировано 152 публикации в eLIBRARY.RU и 179 в PubMed, из которых для анализа отобраны наиболее соответствующие тематике работы с учетом их ин-

формативности и актуальности. В рамках данной статьи рассматриваются концептуальные основы БТ и их специфические особенности применительно к сфере здравоохранения, а также анализируются конкретные примеры использования БТ для решения актуальных отраслевых задач. Особое внимание уделено таким направлениям, как управление электронными медицинскими картами (ЭМК), организация телемедицинских консультаций, клинические исследования, контроль фармацевтической логистики и обеспечение безопасности МД. Полученные результаты позволяют комплексно оценить существующий потенциал внедрения БТ в медицинскую практику, выявить текущие ограничения их применения и определить наиболее перспективные направления для дальнейших научных исследований в данной междисциплинарной области.

Определение блокчейна

БТ представляет собой инновационную децентрализованную архитектуру хранения данных, обеспечивающую фиксацию и верификацию всех транзакционных операций между участниками сети. В отечественной научной литературе для обозначения БТ преимущественно используется термин «распределенный реестр» [6], что более точно отражает ее сущностные характеристики. Технологическая основа системы заключается в организации хранения данных в виде последовательной цепочки криптографически защищенных блоков, где каждый последующий блок содержит хеш-сумму предыдущего, что обеспечивает неразрывность и неизменяемость всей цепочки записей. В каждом блоке хранятся записи вместе со вспомогательной информацией. По мере добавления новых блоков с записями о последних транзакциях объем цепочки растет, и время записи в блоке неразрывно связано с самими данными. В этой системе каждый участник представлен узлом, который содержит всю актуальную информацию и взаимодействует с другими узлами. Узлы могут добавлять новые записи в конец списка и информировать друг друга об изменениях в списке. Все авторизованные участники сети получают равноправный доступ к распределенному реестру и коллективно выполняют функции верификации (консенсус-механизм) [6–8].

БТ обладают рядом фундаментальных свойств, определяющих их уникальность и потенциал для применения в различных сферах, включая здравоохранение. *Децентрализованная архитектура* обеспечивает распределенное хранение данных, исключая необходимость в едином

центре управления. Вместо этого информация дублируется на множестве узлов сети, что повышает отказоустойчивость системы и снижает риски, связанные с уязвимостью централизованных хранилищ. Важным свойством является *неизменяемость* данных: после добавления блока в цепочку его содержимое не может быть изменено или удалено, что гарантирует сохранность и актуальность информации. Это свойство особенно важно в медицине, где целостность данных имеет критическое значение. *Прозрачность* блокчейна позволяет всем авторизованным участникам сети просматривать данные, обеспечивая открытость и подотчетность. *Конфиденциальность* может поддерживаться за счет криптографических методов, таких как шифрование. Это создает баланс между доступностью информации и защитой персональных данных, способствуя доверию работающим на основе БТ медицинским приложениям. *Безопасность* обеспечивается за счет комбинации криптографических технологий, включая хеширование и цифровые подписи. Медицинские данные в блокчейне шифруются, маркируются временными метками и добавляются в хронологическом порядке. Интересной возможностью являются *смарт-контракты*, которые представляют собой самоисполняющиеся алгоритмы, запрограммированные на автоматическое выполнение условий договора при соблюдении заранее определенных критериев. В медицине они могут использоваться для автоматизации процессов, таких как управление доступом к МД, контроль соблюдения протоколов лечения и др. Их исполнение исключает влияние человеческого фактора, снижая риски ошибок, мошенничества или вмешательства третьих сторон. На текущий момент выделяют два основных вида блокчейна – частный и публичный, также рассматривают гибридный и консорциум-блокчейн. Гибридные БТ обладают значительным потенциалом для хранения и безопасного обмена МД, сочетая преимущества публичных и частных блокчейн-сетей [2, 3, 5, 7, 9, 10].

Применение блокчейн-технологий в сфере здравоохранения

Управление медицинскими данными

В настоящее время управление МД является одной из наиболее перспективных областей применения БТ в медицине. Основные проблемы в сфере цифрового здравоохранения – фрагментация, дублирование и разрозненность МД. Информация о пациентах часто хранится в разных учреждениях, что затрудняет доступ к полной

истории болезни и может приводить к недоучету клинически значимой информации в различных лечебно-диагностических ситуациях. Традиционные системы управления МД часто страдают от проблем интероперабельности, безопасности и конфиденциальности. Для решения этих проблем возможно применение БТ, обеспечивающих безопасный и децентрализованный способ хранения и обмена МД [1, 2, 9, 11].

Проблема безопасного хранения и обмена ЭМК представляет собой актуальный вызов для систем здравоохранения во всем мире. Блокчейн-решения обеспечивают принципиально новый уровень защиты МД, исключающий возможность их несанкционированного изменения и обеспечивающий при этом безопасный доступ к истории болезни из любого медицинского учреждения. Такие возможности становятся достижимыми благодаря распределенной архитектуре хранения информации, которая устраняет зависимость от конкретного лечебного заведения и обеспечивает целостность данных на глобальном уровне [2, 3, 11, 12]. Наиболее целесообразным вариантом использования БТ является создание единой базы ЭМК, что позволит собирать и хранить все истории болезни пациента. Благодаря унификации данных в такой системе значительно вырастет доступность информации о пациенте, так как сейчас она хранится только в компьютере врача или отдельной медицинской информационной системе. Блокчейн позволяет создать единую базу ЭМК, доступную пациентам и медицинским работникам. Пациенты могут контролировать доступ к своим данным, предоставляя медицинским специалистам временные ключи («токены») [9]. Это обеспечивает прозрачность и контроль над использованием МД [12]. Формирование единого информационного пространства на основе БТ позволяет реализовать эффективную систему поддержки врачебных решений, организовать полноценный статистический учет, обеспечить прозрачность и надежность медицинской статистики [13].

БТ могут улучшить интероперабельность между различными медицинскими системами и учреждениями [2, 11]. Стандартизация данных и протоколов обмена данными является ключевым фактором для успешной реализации БТ в этой области [1]. БТ используют криптографические методы для защиты МД от несанкционированного доступа и изменений [2, 3, 9]. Это особенно важно в свете растущего числа кибератак на медицинские учреждения. Данные технологии могут быть использованы для верификации достоверности и подлинности медицинских документов с помощью смарт-контрактов. Это позволяет ис-

ключить подделку рецептов и других медицинских документов [10].

Приведем несколько известных примеров того, как можно использовать БТ для управления МД. В Эстонии в рамках государственной электронной системы «e-Estonia» в сфере здравоохранения реализован проект Guardtime [14] под девизом «Здравоохранение меняется, и технологии меняются вместе с ним» [15]. В нем БТ «KSI» используется для защиты государственных данных, включая электронные медицинские записи. Распределенная архитектура системы обеспечивает интеграцию новых сервисов и эффективное взаимодействие между различными базами данных. Разработанная платформа предоставляет гражданам возможность через персональные ЭМК получать комплексные услуги не только в сфере здравоохранения, но и в нотариальном, а также банковском секторе. Каждое обращение в медицинское учреждение сопровождается обновлением ЭМК, генерацией уникального хеша и регистрацией данных в распределенном реестре. Данный механизм обеспечивает высокий уровень безопасности, прозрачность и возможность верификации всех изменений, вносимых в медицинские записи пациентов [7, 9].

Успешно применяется БТ-платформа Medicalchain – децентрализованный реестр МД, имеющий интерфейс для подключения специализированных приложений, включая системы телемедицинских консультаций. В данной системе реализована идея единого цифрового пространства, в котором врачи, клиники, диагностические подразделения и прочие получают доступ к актуальной версии ЭМК пациента, что исключает риски потери данных или их несанкционированного изменения. Функциональные возможности системы дифференцированы по категориям пользователей [7].

Платформы DokChain и Bitfury представляют собой современное блокчейн-решение для безопасного хранения, управления и верификации МД. Основные усилия проектов направлены на создание устойчивой к взлому системы хранения персональных данных [16, 17, 18]. MedRec – еще одна распределенная система управления медицинскими записями, разработанная в Массачусетском технологическом институте. Ее ключевыми особенностями являются устойчивость к кибератакам, а также предоставление пациентам возможности полного управления своими МД [1, 7, 17].

Healthchain представляет собой инновационную БТ-платформу для хранения и управления электронными медицинскими записями. Платформа обеспечивает пациентам доступ к МД, ос-

нащена удобным интерфейсом, отображающим актуальную информацию о состоянии здоровья, предоставляет персонализированные медицинские рекомендации. Предусмотрен доступ к данным не только для пациентов, но и медицинских учреждений, фармацевтических компаний, научно-исследовательских организаций [6].

Несколько специализированных БТ-платформ для медицинской отрасли разработано консорциумом Hashed Health. ProCredEx – настраиваемая система верификации профессиональных данных медицинского персонала. Внедрение данной системы в медицинских учреждениях способствует ускорению адаптации новых сотрудников, снижению административных расходов, оперативному обновлению профессиональной информации, устранению дублирующих процессов [19, 20]. Bramble – цифровая площадка для оказания и получения медицинских услуг. В данной системе поставщики могут предлагать медицинские услуги с подробным описанием, стоимостью и условиями оказания. К ключевым преимуществам платформы относится расширение рынка за счет привлечения проверенных поставщиков, возможность выбора услуг на основе цены, качества и репутации, интеграция со страховыми продуктами [19, 20]. Платформа Signal Stream предназначена для автоматизации взаимодействия различных организаций здравоохранения. Система обеспечивает сбор данных из различных источников, генерацию отчетов и предоставление медицинским учреждениям достоверной информации. Основные преимущества платформы включают снижение административной нагрузки, возможность мониторинга исполнения контрактов в режиме реального времени [19, 20].

Другие примеры блокчейн-проектов в сфере управления МД включают MEDIS [21], GEM [22], PatientTruth, CareX, Humantiv, Medoplex [17]. Среди отечественных проектов следует отметить опыт ОАО «Медицина» в применении БТ для организации электронного документооборота, а также сети медицинских центров «Открытая клиника», где данная технология используется для оптимизации системы оказания медицинских услуг [23].

Телемедицина

Современное развитие телемедицинских технологий требует создания надежных механизмов защиты при обмене медицинской информацией как между пациентами и врачами, так и в процессе междисциплинарного взаимодействия специалистов. БТ могут гарантировать целостность и безопасность записей о консультациях, прозрачность и конфиденциальность обмена медицин-

ской информацией. Блокчейн-проект Patientory предоставляет полный набор инструментов для работы, включая безопасный доступ, хранение и управление МД, а также контролируемый обмен этой информацией с медицинскими специалистами. Система объединяет данные из различных источников в единое защищенное пространство. Технологическая основа платформы построена на использовании смарт-контрактов. Пациенты могут не только напрямую взаимодействовать с поставщиками медицинских услуг, но и участвовать в обсуждении вопросов здоровья с другими пользователями. Такой подход способствует улучшению координации лечения, повышению медицинской грамотности населения и росту качества медицинской помощи [20, 24].

Dos.ai – отечественный стартап, представляющий собой сочетание двух перспективных технологий – блокчейна и искусственного интеллекта. Платформа осуществляет комплексную оценку физиологического состояния пациентов по запросу. Система способна вести естественно-языковой диалог с пользователями, анализировать многомерные МД, обрабатывать информацию с медицинских устройств. Данный подход способствует переходу к новой парадигме взаимодействия в сфере медицинских исследований и персонифицированного здравоохранения [7]. Open Longevity – инновационный блокчейн-проект, специализирующийся на создании системы диагностики заболеваний и анализа МД. Платформа преследует две основные цели – обеспечение пользователей исчерпывающей информацией о состоянии здоровья и организацию клинических исследований, направленных на решение проблемы преждевременного старения. Уникальность проекта заключается в привлечении пациентов к исследовательскому процессу в разных ролях: часть пользователей финансирует разработки, а другие (включая инвесторов) добровольно участвуют в контролируемых медицинских исследованиях [6, 7]. Robomed Network – отечественная цифровая БТ-платформа, объединяющая пациентов и медицинские учреждения посредством смарт-контрактов. Система предоставляет такие функции, как хранение полной истории болезни, непрерывное отслеживание динамики состояния пациента. После сбора врачом анамнеза система формирует диагностические рекомендации, предоставляет врачу варианты терапевтических решений, выделяет обязательные и корректируемые назначения. Данные проекты демонстрируют новые модели взаимодействия в здравоохранении [7].

TrustedHealth – инновационное телемедицинское блокчейн-решение, в рамках которого

обеспечивается безопасное хранение и управление МД. Ключевой функцией системы является инструмент Trustedoctor, который обеспечивает прямую коммуникацию между пациентом и медицинскими специалистами, позволяет пользователям находить и консультироваться с нужными врачами и гарантирует защищенный обмен медицинской информацией [6]. Symptomatic – блокчейн-платформа, которая специализируется на обработке больших массивов МД и предоставлении телемедицинских услуг [6]. БТ-платформа Guardtime позволяет осуществлять мониторинг состояния медицинского оборудования в реальном времени. Ведение неизменяемого журнала работы устройств дает медицинскому персоналу возможность оперативно выявлять и устранять технические неисправности [14]. Данные платформы демонстрирует эффективное применение распределенных технологий для организации современного телемедицинского сервиса. ClinicoIn (США) – децентрализованная платформа, созданная для вознаграждения пациентов за здоровый образ жизни и взаимодействие с медицинскими организациями [25].

Лекарственное обеспечение

Управление логистикой поставки фармацевтических товаров представляет собой сложную задачу, требующую координации между различными участниками, включая производителей, дистрибьюторов, аптеки и медицинские учреждения [2]. Серьезной проблемой, влияющей на здоровье пациентов и экономику здравоохранения, является подделка лекарственных средств. БТ позволяют отслеживать перемещение лекарств от производителя до пациента, обеспечивая прозрачность и контроль на каждом этапе поставок [2, 3, 10]. Это в свою очередь, способствует оптимизации логистики, сокращению времени доставки лекарств, обеспечивая, таким образом, своевременное поступление лекарств пациентам [10]. Также БТ можно применять для проверки подлинности фармацевтических препаратов, предотвращая попадание на рынок поддельных лекарств [2]. Это особенно важно для дорогостоящих и жизненно важных лекарственных препаратов. Смарт-контракты могут использоваться в рамках систем мониторинга и оповещения о ненадлежащих условиях транспортировки (например, несоблюдения определенного температурного диапазона) [17].

Интересно отметить, что идея использования БТ в сфере фармации берет свое начало не из медицинского сектора. В качестве прототипа такой системы можно отметить компанию Walmart, ис-

пользующую БТ для контроля поставок манго, что позволяет ей сокращать время отслеживания с нескольких дней до нескольких секунд [2]. Другим примером является работающая на основе БТ платформа IBM Food Trust, разработанная для мониторинга движения пищевой продукции от фермы до магазина [2, 17]. Очевидно, аналогичный подход может применяться и для отслеживания товарооборота в фармацевтической сфере. Отметим несколько известных проектов, реализованных в данном секторе.

Mediledger – это платформа, созданная компанией Chronicled, для оптимизации управления снабжением в фармацевтической промышленности. БТ обеспечивают сквозной контроль движения фармацевтической продукции на всех этапах – от производства до конечного потребителя, что гарантирует подлинность лекарственных препаратов и снижает возможность их фальсификации [6, 9, 26]. Система обеспечивает надежную защиту фармацевтического рынка от контрафактной продукции. Blockpharma – французский проект, использующий блокчейн для отслеживания фармацевтических поставок и борьбы с поддельными препаратами. С помощью мобильного приложения пользователи могут проверить подлинность лекарства, сканируя его штрих-код [27]. FarmaTrust разработала быстрое, масштабируемое и безопасное блокчейн-решение для автоматизации отслеживания фармацевтической продукции. Платформа использует децентрализованный реестр для хранения данных о происхождении лекарств, смарт-контракты для автоматизации поставок легальных продуктов и искусственный интеллект для прогнозирования потребностей в фармацевтических препаратах. Данное решение позволяет минимизировать затраты на отслеживание препаратов и интегрируется с существующими корпоративными программными решениями, что помогает избежать дестабилизации рабочих процессов из-за проблем с поставками [28].

Объединенная медицинская корпорация совместно с Внешэкономбанком разработала платформу мониторинга оборота фармацевтических препаратов в лечебных учреждениях. Созданное решение позволяет отслеживать движение дорогостоящих лекарств, закупаемых за счет средств государственного бюджета. БТ обеспечивает надежное хранение информации о препаратах. Пациенты имеют доступ к достоверным данным о выписанных лекарствах, что исключает возможность подмены их наименований или количества. Проект реализован в ряде структурных подразделений новгородской областной клинической больницы [28]. Другие примеры стартапов в

фармацевтической сфере – BlockVerify, Merck, Modum [17].

Геномные данные

Во многом подобно ЭМК, БТ могут стать инструментом для управления доступом к существующим базам генетических данных, позволяя напрямую взаимодействовать собственникам таких данных (частные лица) и покупателям (научно-исследовательские организации, фармацевтические компании). Блокчейн объединяет разрозненные геномные записи, решая проблемы совместимости, обеспечивает безопасный доступ к информации, что способствует повышению прозрачности, снижению затрат, оптимизации обмена данными. Примеры использования БТ для разработок в данном секторе включают Nebula Genomics [29], Shivom [30], Zenome [31], LunaDNA, EncrypGen, MacroGen [17].

Nebula Genomics разрабатывает блокчейн-платформу для хранения, обмена и обработки больших биомедицинских данных. Физические лица могут хранить на платформе свои геномные данные и использовать блокчейн для их прямого обмена или продажи на рынке геномной информации. Полный контроль владельцев над своими данными, разрешениями повышает прозрачность и решает вопросы конфиденциальности. Технологическое решение платформы направлено на снижение затрат за счет прямых транзакций между владельцами и покупателями данных, с возможностью предоставления субсидий на секвенирование для лиц с определенными характеристиками, интересующими исследователей. В платформе реализован криптографический обмен данными, ведение неизменяемого журнала транзакций, улучшенная доступность данных за счет интеграции информации из множества источников [17, 29].

LunaDNA позволяет частным лицам присоединяться к своей блокчейн-сети и получать криптовалюты, представляющие доли в компании, в обмен на предоставление своих данных. Исследователи платят за доступ к агрегированным данным, а доходы распределяются между участниками в виде дивидендов. Платформа не предоставляет услуги по секвенированию генома, но в порядке сотрудничества принимает данные от других компаний и использует БТ для обеспечения владения данными и ведения неизменяемого журнала транзакций [17]. Другие компании, такие как Shivom, Zenome, EncrypGen и MacroGen, также используют БТ для обеспечения возможности владения и управления геномными данными. Платформы сосредоточены на безопасном обмене

не данными, неизменяемых записях транзакций и предоставлении возможности монетизировать данные, сохраняя конфиденциальность [17, 30].

В целом, преимущества использования БТ-платформ в данной сфере включают снижение затрат за счет отсутствия посредников, повышение прозрачности благодаря криптографической безопасности и неизменяемым журналам транзакций, а также расширение прав собственников данных. Существующие решения направлены на демократизацию обмена геномными данными, обеспечивая конфиденциальность, безопасность и справедливую компенсацию для владельцев данных, одновременно способствуя исследованиям и инновациям в этой области [17].

Клинические исследования

Клинические исследования требуют сбора и анализа большого объема данных, а также обеспечения их целостности и конфиденциальности. БТ могут способствовать оптимизации процессов в области клинических исследований, обеспечивая неизменность и целостность данных, а также защиту интеллектуальной собственности [3]. Это особенно важно при проведении многоцентровых исследований в условиях роста их сложности и стоимости. В рамках управления данными БТ позволяют создать децентрализованную базу для хранения информации, связанной с клиническими исследованиями. Это обеспечивает прозрачность и доступ к данным для всех заинтересованных сторон, включая исследователей, регуляторов и пациентов. Важным преимуществом блокчейна является обеспечение неизменяемости данных, что повышает доверие к результатам клинических исследований и способствует увеличению достоверности научных результатов [1].

Инновационная БТ-платформа GlobalLabs разработана специально для медицинских специалистов и исследователей. Ее основная идея – создание единой базы данных научных кадров с подробным описанием их компетенций и профессиональных навыков. Платформа выполняет функцию посредника между исследователями в области биологии и медицины, научными и медицинскими учреждениями. Ключевой особенностью GlobalLabs является предоставление научным организациям возможности находить специалистов под конкретные исследовательские задачи. Данное решение способствует оптимизации процессов формирования научных коллективов и организации медицинских исследований [6]. Примером успешного применения БТ в данной области также служит платформа MediBloc [32].

Значительный интерес представляют возможности применения БТ для оптимизации процессов, связанных с получением информированного согласия (ИС) пациентов на участие в клинических исследованиях [9]. Существующая практика работы с ИС часто страдает от таких проблем, как ошибки заполнения и частое обновление форм, несанкционированные изменения, что усугубляется необходимостью повторного получения ИС при возникновении новых обстоятельств. БТ предоставляют решение, создавая неизменяемый, помеченный временем журнал ИС, позволяя участникам контролировать, управлять и отзываться свое согласие в режиме реального времени. С помощью смарт-контрактов возможна автоматизация данных процессов, что гарантирует соответствие нормативным требованиям, помогает соблюдать этические и юридические стандарты [17].

Несколькими блокчейн-проектами предложены технологические решения для обработки ИС в клинических исследованиях. Verifiable Audit Trail отслеживает взаимодействия с МД в реальном времени, предоставляя распределенный реестр, который фиксирует цель и использование данных, повышая доверие и прозрачность в медицинских исследованиях [33]. В проекте Humanity.co на базе БТ разработано мобильное приложение, позволяющее пользователям управлять и монетизировать свое согласие на обмен МД [17]. На платформе Bitfury предложено решение на основе БТ для обновления ИС, обеспечивающее прозрачность и подотчетность в исследованиях. Отчасти схожий функционал реализован на платформе HealthVerity [34]. Проект BlockTrial предлагает решение, которое позволяет пациентам назначать разрешения для доступа к данным, а исследователям – осуществлять запрос на данные. Еще одним примером является прототип БТ, созданный на основе Hyperledger Fabric для управления ИС пациентов в сторонних смарт-приложениях, собирающих МД. Платформа позволяет пользователям предоставлять и отзываться согласие для определенных типов данных и периодов, предлагая детальный контроль над обменом данными [17, 35].

В целом, блокчейн-решения упрощают процессы управления ИС, повышают уровень доверия между участниками и исследователями, обеспечивают прозрачность, безопасность, эффективность, соблюдение этических и юридических требований.

Медицинское страхование

БТ могут помочь в решении ряда технических проблем в сфере медицинского страхования. Они обеспечивают высокий уровень безопасности и конфиденциальности персональных МД, а также прозрачность и отслеживаемость транзакций. Данные технологии могут оптимизировать процессы страхования, сокращая затраты и повышая прозрачность. Это особенно важно в свете растущей стоимости услуг в данной сфере. Смарт-контракты могут автоматизировать процесс обработки страховых требований, сокращая время и затраты на обработку. Также БТ могут быть использованы для предотвращения случаев мошенничества в страховании, а также улучшения взаимодействия между страховыми компаниями и пациентами, обеспечивая доступность информации о страховых полисах и выплатах [10].

В рамках ряда БТ-проектов предложены технологические решения, направленные на решение ключевых проблем в сфере медицинского страхования за счет оптимизации процессов, повышения прозрачности и эффективности. Одним из таких примеров является пилотная блокчейн-платформа Insurechain, автоматизирующая страховые выплаты в одном из подразделений страховой компании Metlife в Сингапуре. Приложение Vitana, работающее на данной платформе, обеспечивает финансовую защиту беременных женщин с риском гестационного диабета. БТ позволяет оформить полис за несколько минут и автоматически получить страховую выплату без участия пациента [28]. V3i, швейцарский консорциум страховых компаний, использует БТ для автоматизации страховых выплат [36]. Благодаря смарт-контрактам такие платформы, как DokChain [16, 17], позволяют автоматизировать обработку страховых претензий, обеспечивая проверку статуса в режиме реального времени, идентификацию ошибок и мгновенные расчеты платежей. Это сводит к минимуму задержки и бюрократические препоны. Такие стартапы, как GEM [22] и Payspan [37], также используют БТ для сокращения времени урегулирования претензий и улучшения связи между плательщиком и поставщиком услуг; MedicalChain, Medoplex, CareX и BlockRx создают рынки МД, позволяя пациентам напрямую оплачивать услуги с помощью криптотокенов и снижая зависимость от страховых посредников. Эти инновации направлены на повышение доверия, снижение затрат и повышение эффективности систем медицинского страхования [17].

Известные блокчейн-проекты в сфере здравоохранения

Well-known blockchain projects in the healthcare sector

Сфера применения	Проекты
Управление медицинскими данными	Healthchain [6], Medicalchain [7], Guardtime [14], DokChain [17], MedRec [17], PatientTruth, CareX, Humantiv, Medoplex [17], Bitfury [18], Hashed Health [19], ProCredEx [19], Bramble [19], Signal Stream [19], MEDIS [21], GEM [22]
Телемедицина и удаленные консультации	Open Longevity [6], Symptomatic [6], TrustedHealth [6], Doc.ai [7], Robomed Network [7], Patientory [24], Guardtime [14], Clinicoin [26]
Лекарственное обеспечение	BlockVerify, Merck, Modum [17], Mediledger [25], Blockpharma [27], Farma-Trust [28], Объединенная медицинская корпорация и ВЭБ [28]
Геномные данные	LunaDNA [17], EncrypGen [17], MacroGen [17], Nebula Genomics [29], Shivom [30], Zenome [31],
Клинические исследования	GlobalLabs [6], Hu-manity.co [17], BlockTrial [17], Bitfury [18], MediBloc [32], Verifiable Audit Trail [33], HealthVerity [34], Hyperledger Fabric [35]
Медицинское страхование	DokChain [17], MedicalChain, Medoplex, CareX, BlockRx [17], GEM [22], Insurechain/Vitana (Metlife) [28], B3i [36], Payspan [37]

Примеры известных блокчейн-проектов, реализованных в сфере здравоохранения, приведены в таблице.

Преимущества и недостатки БТ в здравоохранении

Преимущества

Как уже упоминалось, основные достоинства БТ включают распределенную архитектуру системы управления МД, в которой не предусмотрен единый контролирующий центр, но все участники процесса имеют равные права доступа к информации. Распределенное хранение данных на множестве узлов гарантирует их доступность и повышает устойчивость к повреждениям и кибератакам. Важным преимуществом БТ является невозможность произвольного изменения уже сделанных записей при хранении и передаче МД. Это достигается преемственностью и хронологической маркировкой блокчейн-записей, а также криптографическим шифрованием. БТ обеспечивают пациентам полный контроль над своими МД через систему ключей и смарт-контрактов. Прозрачность блокчейн-систем создает атмосферу доверия среди всех участников медицинского процесса, а встроенные механизмы верификации позволяют проверять достоверность данных без доступа к их содержимому – это особенно ценно для контроля логистики фармацевтических поставок [7]. Суммируя вышесказанное: к основным преимуществам БТ относятся высокий уровень безопасности и защиты данных, возможность управления доступом к данным самим пациентом, ускорение операций за счет автоматиза-

ции процессов страхования и документооборота, снижение расходов за счет сокращения затрат на посредников и администрирование.

Недостатки

Энергозависимость. Наиболее распространенным типом блокчейна является алгоритм, основанный на консенсусе Proof-of-Work, обладающий высокой вычислительной сложностью транзакций, что делает данную технологию энергозатратной и дорогостоящей [2, 38].

Масштабируемость. Данный аспект является серьезным ограничением БТ. В случае перегруженности базы такого типа скорость транзакций и передачи данных существенно снижается, вплоть до нескольких часов на выполнение одной транзакции [38].

Подверженность кибератакам. Несмотря на существенное повышение безопасности передачи и хранения МД, наблюдаемое при использовании данной технологии, блокчейн может быть подвержен различным видам компьютерных атак, таким как DDoS или «Атака 51 %». В статье [39] описаны успешно реализованные «фишинговые» атаки на использующую цифровую систему блокчейн, в результате которых были утрачены важные данные или изъяты средства.

Проблемы внедрения

К сожалению, стоит признать, что не все блокчейн-проекты в секторе здравоохранения получили дальнейшее развитие. Этому способствовало несколько причин. Существенное значение имели законодательные барьеры. Поскольку БТ все еще относительно новы, правовые основы их использования в сфере здравоохранения на текущий

момент до конца не разработаны. Многие новые технологические решения не смогли вписаться с существующие нормативно-правовые рамки, что затруднило их введение в эксплуатацию. Серьезные трудности возникали при интеграции БТ с действующими в сфере здравоохранения цифровыми решениями. Отчасти этому способствовали сложности взаимодействия, а также присущее отрасли здравоохранения консервативное отношение к внедрению новых технологий [40–42]. Многие организации здравоохранения воздерживались от полного внедрения БТ ввиду высоких затрат на внедрение и обслуживание. Кроме того, развитию и устойчивости этих стартапов препятствовало недостаточное финансирование и инвестиции [40]. Хотя БТ повышают безопасность и устойчивость к взлому, все же существует риск утечки или нарушения целостности данных пациентов. Многие проекты не смогли адекватно решить проблемы конфиденциальности и безопасности данных на децентрализованной платформе, что приводило к снижению доверия и в конечном итоге прекращению деятельности [42]. Таким образом, хотя БТ и обладают значительным потенциалом для трансформации здравоохранения, работа ряда проектов была прекращена из-за проблем с законодательством, интеграцией, конфиденциальностью данных, финансовых ограничений, резистентности к изменениям в консервативной и сложно организованной системе здравоохранения.

Важно отметить и факторы, способствующие успеху действующих БТ-проектов. Успешные проекты отдают приоритет достижению так называемого «культурного сдвига» – изменению отношения к БТ в организациях здравоохранения. Это включает в себя обучение заинтересованных сторон преимуществам данных технологий и преодоление резистентности к изменениям. Значительная часть медицинских работников не обладает достаточными знаниями о принципах работы БТ, что вызывает у них обоснованные сомнения относительно целесообразности их применения в клинической практике. С другой стороны, и пациенты могут не доверять передаче своих МД блокчейн-платформам, что обусловлено сохраняющимися опасениями относительно надежности защиты персональной информации и возможных рисков ее несанкционированного использования [7, 11, 18, 43, 44].

Также замечено, что конкретизация ситуаций, в которых блокчейн может принести пользу, имеет решающее значение. Проекты с четко определенными целями с большей вероятностью будут соответствовать целям организации и демонстрировать ощутимые преимущества. Первостепен-

ное значение имеет внедрение надежных систем безопасности и обеспечение конфиденциальности данных пациентов. Сквозное шифрование и децентрализованное управление идентификацией помогает в укреплении доверия между пользователями. Важнейшее значение также имеет бесшовная интеграция БТ с существующими цифровыми системами. Медицинские организации часто проявляют осторожность при внедрении БТ, опасаясь сложностей, связанных с интеграцией новой системы в существующую инфраструктуру. Проекты, в которых разрабатываются решения, совместимые с существующей в здравоохранении инфраструктурой, чаще достигают успешного внедрения своих продуктов. Разработка надежных протоколов обмена данными обеспечивает совместимость и минимизирует сбои. Более широкому принятию БТ способствуют функции, направленные на соблюдение правовых аспектов, а также прозрачное, отслеживаемое управление данными. На начальных этапах, однако, для эффективного внедрения БТ медицинские организации могут столкнуться с необходимостью оперативно ориентироваться в сложных правовых и нормативных вопросах [43, 45].

Таким образом, основными вызовами в отношении БТ в настоящее время являются высокая стоимость внедрения, проблемы масштабируемости, совместимости, законодательные барьеры. Для успешного внедрения блокчейн-проектов первостепенное значение имеют такие аспекты, как «культурная адаптация», четкие цели, надежные меры безопасности, бесшовная системная интеграция, соблюдение законодательства, обеспечение прозрачности данных.

Перспективы развития

Закономерно, что практическое внедрение БТ происходит быстрее в сферах логистики, туризма, экономики и банковских услуг [6]. Однако данные технологии могут способствовать решению ряда ключевых проблем и в медицинской сфере, в частности – улучшить управление МД, повысить интероперабельность, защиту конфиденциальной информации, оптимизировать логистику фармацевтического снабжения, помочь в борьбе с фальсификацией лекарственных средств. В настоящее время продолжается рост доверия к БТ. Вместе с тем существует риск преувеличения значимости данных технологий и попыток внедрения в ситуациях, для которых уместны более консервативные технологические решения. На текущий момент БТ нельзя считать до конца разработанными, и для их успешного применения необходи-

мо решить ряд нормативных, технических и организационных проблем, среди которых – высокие расходы на внедрение, законодательные барьеры, масштабируемость, совместимость, кибербезопасность, сложность системы [12, 40].

Несмотря на существующие вызовы, перспективы внедрения БТ в медицину остаются многообещающими. Эта технология может стать основой для качественного прорыва в здравоохранении, включая такие области, как персонализированная медицина, интернет медицинских вещей и искусственный интеллект. Использование блокчейна для хранения ЭМК повысит безопасность и сохранность данных пациентов, объединит разрозненные базы в единую систему и сделает более прозрачным взаимодействие между пациентами, врачами, медицинскими учреждениями и страховыми компаниями. Децентрализованное хранение данных обеспечит их «портативность» и передаст контроль над личной информацией в руки пациентов. БТ способны ускорить переход к персонализированной медицине, так как в базах данных будет храниться информация обо всех эпизодах взаимодействия пациента с медицинскими учреждениями, включая анамнез перенесенных заболеваний, наследственность, результаты осмотров, лабораторных анализов, диагностических и лечебных процедур, а также реакцию на различные препараты. Это упростит анализ качества медицинской помощи и позволит пациентам получать более качественные услуги благодаря перспективному сокращению технологических издержек.

Ожидается, что в ближайшие годы блокчейн станет неотъемлемой частью медицинских информационных систем, повышая их безопасность и эффективность. Перспективы успешного внедрения блокчейн-решений в сфере здравоохранения могут быть связаны с развитием гибридных блокчейн-систем, сочетающих децентрализованное управление с возможностью регуляторного контроля, созданием общих стандартов для взаимодействия медицинских блокчейн-платформ, улучшением масштабируемости, совместимости, снижением энергозатратности технологии. Успешное внедрение БТ возможно при активном участии всех заинтересованных сторон, включая медицинских работников, пациентов, регуляторов и разработчиков. Только при таком комплексном подходе блокчейн сможет реализовать свой потенциал и стать инструментом для трансформации сферы здравоохранения.

Список литературы / References

1. Saeed H., Malik H., Bashir U., Ahmad A., Riaz S., Ilyas M., Bukhari W.A., Khan M.I.A. Blockchain technology in healthcare: A systematic review. *PLoS One*. 2022;17(4):e0266462. doi: 10.1371/journal.pone.0266462
2. Agbo C.C., Mahmoud Q.H., Eklund J.M. Blockchain technology in healthcare: a systematic review. *Healthcare (Basel)*. 2019;7(2):56. doi: 10.3390/healthcare7020056
3. Elangovan D., Long C.S., Bakrin F.S., Tan C.S., Goh K.W., Yeoh S.F., Loy M.J., Hussain Z., Lee K.S., Idris A.C., Ming L.C. The use of blockchain technology in the health care sector: systematic review. *JMIR Med. Inform.* 2022;10(1):e17278. doi: 10.2196/17278
4. Технология блокчейна на рынке здравоохранения: размер мирового рынка, прогноз и основные тенденции на 2025–2037 гг. Режим доступа: clck.ru/3P8qyx
Blockchain technology in the healthcare market: global market size, forecast and main trends for 2025–2037. Available at: clck.ru/3P8qyx [In Russian].
5. Хлопотов Р.С. Технологии защиты конфиденциальных медицинских данных в информационной системе врача-нутрициолога. *Изв. Тул. гос. ун-та. Техн. н.* 2023;(5):31–41. doi: 10.24412/2071–6168–2023–5–31–32
Khlopotov R.S. Technologies for protecting confidential medical data in the construction of an information system of a nutritionist. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki = Izvestiya Tula State University. Technical sciences*. 2023;(5):31–41. [In Russian]. doi: 10.24412/2071–6168–2023–5–31–32
6. Андреева О.Н. Перспективы использования технологии блокчейн в медицине. *Вестн. соврем. цифр. технол.* 2020;(2):36–41.
Andreeva O.N. Prospects for the use of blockchain technology in medicine. *Vestnik sovremennykh tsifrovyykh tekhnologiy = Journal of Modern Digital Technologies*. 2020;(2):36–41. [In Russian].
7. Литвин А.А., Коренев С.В., Князева Е.Г., Литвин В.А. Возможности блокчейн-технологии в медицине (обзор). *Соврем. технол. в мед.* 2019;11(4):191–199. doi: 10.17691/stm2019.11.4.21
Litvin A.A., Korenev S.V., Knyazeva E.G. The possibilities of blockchain technology in medicine (Review). *Sovremennyye tekhnologii v meditsine = Modern Technologies in Medicine*. 2019;11(4):191–199. [In Russian]. doi: 10.17691/stm2019.11.4.21
8. Dong S., Abbas K., Li M., Kamruzzaman J. Blockchain technology and application: an overview. *PeerJ. Comput. Sci.* 2023;9:e1705. doi: 10.7717/peerjcs.1705
9. Petre A., Hai N. Opportunities and challenges of blockchain technology in the healthcare industry. *Med.*

- Sci. (Paris). 2018;34(10):852–856. doi: 10.1051/medsci/2018204
10. Вишняков В.А. Использование технологии блокчейн в ИТ-медицине. *Сист. анализ и прикл. информат.* 2024;(3):48–53. doi: 10.21122/2309-4923-2024-3-48-53
- Vishnyakov V.A. The use of blockchain technology in IT-medicine. *Sistemnyy analiz i prikladnaya informatika = Systems analysis and applied computer science.* 2024;(3):48–53. [In Russian]. doi: 10.21122/2309-4923-2024-3-48-53
11. Fatoum H., Hanna S., Halamka J.D., Sickler D.C., Spangenberg P., Hashmi S.K. Blockchain integration with digital technology and the future of health care ecosystems: systematic review. *J. Med. Internet. Res.* 2021;23(11):e19846. doi: 10.2196/19846
12. Fang H.S.A., Tan T.H., Tan Y.F.C., Tan C.J.M. Blockchain personal health records: systematic review. *J. Med. Internet. Res.* 2021;23(4):e25094. doi: 10.2196/25094
13. Цыпкин Ю.А., Гридин Л.А., Кудряшов Ю.Н. Применение блокчейн-технологий способно качественно улучшить медицинское обслуживание населения России. *Московский экономический журнал.* 2018;(3):5.
- Tsyppkin Yu.A., Gridin L.A., Kudryashov Yu.N. Application of blockchain technologies can qualitatively improve medical service of population in Russia. *Moskovskiy ekonomicheskij zhurnal = Moscow Economic Journal.* 2018;(3):5. [In Russian].
14. Guardtime. Available at: <https://guardtime.com/platform>
15. Healthcare is changing and technology is changing with it. Available at: clk.ru/3PLqW3
16. Miller R. PokitDok teams with Intel on healthcare blockchain solution. Available at: clk.ru/3P8rWH
17. Velmovitsky P.E., Bublitz F.M., Fadrique L.X., Morita P.P. Blockchain applications in health care and public health: increased transparency. *JMIR. Med. Inform.* 2021;9(6):e20713. doi: 10.2196/20713
18. Bitfury. Available at: <https://bitfury.com/>
19. Hashedhealth. Available at: clk.ru/3PLr3A/
20. Топ 5 блокчейн проектов в сфере здравоохранения. Часть 2. Режим доступа: clk.ru/3P8uQJ
- Top 5 blockchain projects in the healthcare sector. Part 2. [In Russian]. Available at: clk.ru/3P8uQJ
21. MyMEDIS: a new medical data storage and access system. Available at: clk.ru/3P8rbR
22. Redman J. Gem health unveils medical management blockchain platform. Bitcoin. 2016. Available at: clk.ru/3P8re8
23. Басалаева О.Г., Басалаев, Ю.М., Гавва Ю.М. Особенности блокчейна в управлении отраслью здравоохранения. *Современные подходы к трансформации концепций государственного регулирования и управления в социально-экономических системах:* сб. тр. конф., Курск, 21–22 февраля 2023 года. Т. 1. Курск: Курский филиал Финансового университета при Правительстве РФ, 2023. С. 85–88.
- Basalaeva O.G., Basalaev Yu.M., Gavva Yu.M. Features of blockchain in the management of the health-care industry. *Modern approaches to the transformation of concepts of state regulation and management in socio-economic systems:* proc. conf., Kursk, February 21–22, 2023. V. 1. Kursk: Kursk Branch of the Financial University under the Government of the Russian Federation, 2023. P. 85–88. [In Russian].
24. Patientory inc. Available at: <https://patientory.com/>
25. Clinicoin. Available at: <https://clinicoin.io/en>
26. Chronicled. Available at: <https://www.chronicled.com/>
27. Blockchain almanac: BlockFarma. Available at: clk.ru/3P8riX
28. Блокчейн в медицине: Топ 5 актуальных примеров блокчейн проектов в здравоохранении. Режим доступа: clk.ru/3P8rm3
- Blockchain in medicine: Top 5 blockchain projects in the healthcare sector. Available at: clk.ru/3P8rm3 [In Russian].
29. Nebula Genomics. Available at: <https://www.nebula.org/>
30. Shivom. Available at: <https://shivom.co.uk/>
31. Zenome. Available at: <https://zenome.io/>
32. Medibloc. Available at: <https://medibloc.com/>
33. DeepMind. Available at: <https://deepmind.com/>
34. Healthverity. Available at: clk.ru/3P8trX
35. Velmovitsky P.E., Miranda P.A., Vaillancourt H., Donovska T., Teague J., Morita P.P. A blockchain-based consent platform for active assisted living: modeling study and conceptual framework. *J. Med. Internet. Res.* 2020;22(12):e20832. doi: 10.2196/20832
36. Blockchain Experts. Available at: <https://b3i.tech/>
37. Healthcare reimbursement solutions – hospital payment systems. Payspan. Available at: clk.ru/3P8ta5
38. Hussien H.M., Yasin S.M., Udzir S.N.I., Zaidan A.A., Zaidan B.B. A systematic review for enabling of develop a blockchain technology in health-care application: taxonomy, substantially analysis, motivations, challenges, recommendations and future direction. *J. Med. Syst.* 2019;43(10):320. doi: 10.1007/s10916-019-1445-8
39. Соколова Т.Н., Волошин И.П., Петрунин И.А. Преимущества и недостатки технологии блокчейн. *Экон. безопас. и качество.* 2019;1(1):49–52.
- Sokolova T.N., Voloshin I.P., Petrunin I.A. Advantages and disadvantages of blockchain technologies. *Ekonomicheskaya bezopasnost' i kachestvo = Economic Safety and Quality.* 2019;(1):49–52. [In Russian].
40. AbdelSalam F.M. Blockchain revolutionizing healthcare industry: a systematic review of blockchain technology benefits and threats. *Perspect. Health Inf. Manag.* 2023;20(3):1b.

41. AbuHalimeh A., Ali O. Comprehensive review for healthcare data quality challenges in blockchain technology. *Front. Big Data*. 2023;6:1173620. doi: 10.3389/fdata.2023.1173620
42. Daley S. Blockchain in healthcare: 16 real-world examples. Available at: clck.ru/3P8rvB
43. Fang H.S.A. Commercially successful blockchain healthcare projects: a scoping review. *Blockchain Healthc. Today*. 2021;4:166. doi: 10.30953/bhty.v4.166
44. Mutambik I., Lee J., Almuqrin A., Alharbi Z.H. Identifying the barriers to acceptance of blockchain-based patient-centric data management systems in healthcare. *Healthcare (Basel)*. 2024;12(3):345. doi: 10.3390/healthcare12030345
45. Altawri A.M., Sulaiman R.B. Factors influencing blockchain adoption in digital healthcare: a gaussian fuzzy delphi approach for handling uncertainty in experts' opinion. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*. 2024;17(4),909–930. doi: 10.22266/ijies2024.0831.69

Сведения об авторах:

Кавешников Артём Владимирович, ORCID: 0000-0002-4743-1989, e-mail: artemkave@mail.ru
Брагин Дмитрий Сергеевич, ORCID: 0000-0002-0875-3301, e-mail: braginds@mail.ru
Ваизов Валерий Харисович, к.м.н., ORCID: 0000-0003-0004-7717, e-mail: vaizov@mail.ru
Кавешников Владимир Сергеевич, к.м.н., ORCID: 0000-0002-0211-4525, e-mail: kaveshnikov29@yandex.ru

Information about the authors:

Artem V. Kaveshnikov, ORCID: 0000-0002-4743-1989, e-mail: artemkave@mail.ru
Dmitry S. Bragin, ORCID: 0000-0002-0875-3301, e-mail: braginds@mail.ru
Valery Kh. Vaizov, candidate of medical sciences, ORCID: 0000-0003-0004-7717, e-mail: vaizov@mail.ru
Vladimir S. Kaveshnikov, candidate of medical sciences, ORCID: 0000-0002-0211-4525,
e-mail: kaveshnikov29@yandex.ru

Поступила в редакцию 23.05.2025
Принята к публикации 12.09.2025

Received 23.05.2025
Accepted 12.09.2025