

КОБЯКОВА О.С.,

д.м.н., ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, г. Москва, Россия,
e-mail: kobyakovaos@mednet.ru

ЕРЁМЧЕНКО О.А.,

ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, г. Москва, Россия,
e-mail: tatrics@mail.ru

КАНЕВ А.А.,

ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, г. Москва, Россия,
e-mail: alexkanev92@gmail.com

КУРАКОВА Н.Г.,

д.б.н., ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, г. Москва, Россия,
e-mail: idmz@mednet.ru

КВАНТОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ: АНАЛИЗ КЕЙСОВ И ПЕРСПЕКТИВ

DOI: 10.25881/18110193_2025_1_6

Аннотация. Использование квантовых технологий открывает новые возможности для разработки лекарственных средств, улучшения качества диагностики, защиты медицинской информации и персональных данных, повышения эффективности принятия врачебных решений. Целью исследования являлось изучение перспектив развития и применения квантовых технологий в сфере здравоохранения. Для достижения цели выполнен анализ отдельных кластеров квантовых технологий, имеющих максимальные перспективы коммерческого применения в здравоохранении; построен патентный ландшафт рассматриваемой технологической области; подготовлен обзор созданных на основе квантовых технологий рыночных продуктов для здравоохранения. Показано, что максимальное развитие в сфере здравоохранения получили квантовые сенсоры, квантовые вычисления и квантово-устойчивые решения кибербезопасности. Количество созданных технических решений в рассматриваемой технологической области, получивших патентную охрану, составляет более 6,5 тысяч, из которых 3,5 тысячи поддерживаются.

В качестве ключевых бенефициаров использования квантовых технологий в здравоохранении предлагается рассматривать, прежде всего, фармацевтические компании и биотехнологические стартапы, которые могут сократить время моделирования и тестирования лекарств, повысить точность прогнозирования побочных эффектов лекарственных средств и взаимодействия лекарственных препаратов за счет использования квантовых вычислений, ускорить анализ больших данных и оптимизировать протоколы клинических исследований.

Ключевые слова: квантовые вычисления, биомедицина, квантовые сенсоры, искусственный интеллект, здравоохранение.

Для цитирования: Кобякова О.С., Ерёмченко О.А., Канев А.А., Куракова Н.Г. Квантовые вычисления в здравоохранении: анализ кейсов и перспектив. Врачи и информационные технологии. 2025; 1: 6-21. doi: 10.25881/18110193_2025_1_6.

KOBYAKOVA O.S.,

DSc, Russian Research Institute of Health, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia,
e-mail: kobyakovaos@mednet.ru

EREMCHENKO O.A.,

Russian Research Institute of Health, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia,
e-mail: tatrics@mail.ru

KANEV A.F.,

Russian Research Institute of Health, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia,
e-mail: alexkanev92@gmail.com

KURAKOVA N.G.

DSc, Russian Research Institute of Health, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia,
e-mail: idmz@mednet.ru

QUANTUM TECHNOLOGIES IN HEALTHCARE: ANALYSIS OF CASES AND PERSPECTIVES

DOI: 10.25881/18110193_2025_1_6

Abstract. *The use of quantum technologies opens up new opportunities for the development of medicines, improving the quality of diagnostics, protection of medical information and personal data, increasing the efficiency of medical decision-making. The aim of the research was to study the prospects of development and application of quantum technologies in the field of healthcare. In order to achieve the goal, the analysis of separate clusters of quantum technologies with maximum prospects of commercial application in healthcare was performed; the patent landscape of the considered technological area was built; a review of market products for healthcare created on the basis of quantum technologies was prepared. It is shown that quantum sensors, quantum computing and quantum-resistant cybersecurity solutions have received maximum development in healthcare. The number of created technical solutions in the technological field under consideration, which received patent protection, is more than 6.5 thousand, of which 3.5 thousand are supported.*

As key beneficiaries of the use of quantum technologies in healthcare it is proposed to consider, first of all, pharmaceutical companies and biotechnology startups, which can reduce the time of modeling and testing of drugs, improve the accuracy of predicting side effects of drugs and drug-drug interactions through the use of quantum computing, accelerate the analysis of big data and optimize clinical trial protocols.

Keywords: *quantum computing, biomedicine, quantum sensors, artificial intelligence, healthcare.*

For citation: *Kobyakova O.S., Eremchenko O.A., Kanev A.A., Kurakova N.G. Quantum technologies in healthcare: analysis of cases and perspectives. Medical doctor and information technology. 2025; 1: 6-21. doi: 10.25881/18110193_2025_1_6.*

ВВЕДЕНИЕ

Квантовые технологии, которые еще недавно являлись разделом теоретической физики, сегодня представляют собой новую перспективную научно-технологическую область, имеющую значительный потенциал практического применения в различных отраслях.

Эксперты дают разные оценки временного интервала, необходимого для создания квантового компьютера для массового применения в реальном секторе экономики (от 5 до 40 лет) [1], разнятся и прогнозы объема рынка, созданного продуктами и услугами на основе квантовых технологий. По расчетам Европейского индустриального консорциума по фотонике (EPIC), объем такого рынка вырастет примерно с 480 млн долл. в 2018 г. до 3,2 млрд долл. в 2030 г. [2]. Консалтинговая компания McKinsey прогнозирует глобальный рынок квантовых вычислений в пределах 45-131 млрд долл. к 2040 г. [3]. Согласно исследованию «Рексофт Консалтинг», объем рынка квантовых вычислений в России к 2040 г. может превысить 250 млрд руб. [4].

Активные инвестиции в развитие квантовых технологий начались в 2000-х гг., а запуск масштабных государственных программ пришелся на 2010-2020 гг. В 2013 г. началась реализация Национальной программы Китая по квантовым технологиям (Chinese National Quantum Initiative), в 2017 г. – Национальная программа Великобритании (UK National Quantum Technologies Programme) и проект Европейского союза Quantum Flagship, в 2018 г. стартовала National Quantum Initiative в США. Бюджет каждой из перечисленных долгосрочных программ и инициатив составляет более 1 млрд долл. Лидером по инвестициям государственного сектора в НИОКР является Китай, общий объем объявленных инвестиций квантовых технологий в 2020 г. составил 15,3 млрд долл. [5].

Одной из самых перспективных областей применения квантовых вычислений является медицина. В течение последних пяти лет российскими и зарубежными учеными опубликован ряд работ, описывающих ключевые направления в области биохимии и квантовой вычислительной биологии [6], примеры использования квантовых технологий для разработки датчиков и сенсоров [7], [8], для обработки и защиты персональных медицинских данных [9] и другие).

Технологии машинного обучения для формирования клинических решений требуют быстрой обработки колоссального объема данных, с чем эффективно справляются квантовые технологии, что может ускорить развитие персонализированной медицины [10]. Технологии квантовых вычислений позволяют получать более детальные и четкие МР- и КТ-изображения, а также интерпретировать их результаты с применением технологии искусственного интеллекта [11].

Несмотря на то, что большая часть квантовых технологий в медицине пока находится на стадии экспериментов, потенциал их внедрения в практическое применение уже ясно виден. Благодаря своим уникальным возможностям — от параллельных вычислений с помощью кубитов до сверхточных измерений — квантовые технологии открывают новые горизонты в диагностике, разработке лекарств и персонализированном лечении. Уже в 2023 г. рынок квантовых технологий в медицине оценивался в 85 млн долл., и по прогнозам достигнет отметки в 1,9 млрд долл. в 2032 г. [12].

В настоящее время в Российской Федерации не действуют нормативно-правовые документы, регламентирующие развитие квантовых технологий в здравоохранении. Вместе с тем, потребность наращивания научно-технологического потенциала в этой области зафиксирована в Федеральном проекте «Цифровые технологии» [13] и в Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 года [14].

Выполненный в рамках настоящего исследования обзор российских научных публикаций обнаружил отсутствие детального анализа перспектив применения квантовых технологий в сфере здравоохранения. Большинство публикаций российских авторов, в фокусе которых находятся вопросы развития квантовых технологий, лишь подчеркивают применимость практических результатов в области медицины и здравоохранения ([15], [16] и другие), либо описывают перспективы внедрения без конкретизации технических решений, а также уточняют перечень организаций и компаний, занимающихся разработкой или имеющих на права на их коммерческое использование (см., например, [17]).

Целью настоящего исследования являлся анализ перспектив развития и применения квантовых технологий в сфере здравоохранения. В

рамках этой цели представляется целесообразным решение следующих задач:

- выполнение анализа глобальных трендов развития квантовых технологий в области медицины, включая выделение ключевых секторов, имеющих максимальные перспективы коммерческого применения разработанных технологий;
- построение патентных ландшафтов для технологической области «квантовые технологии в медицине»;
- обзор уже созданных на основе квантовых технологий рыночных продуктов для здравоохранения.

В качестве информационной базы были использованы открытые российские и зарубежные источники (научные публикации, отчеты компаний и агентств, нормативно-правовые документы), а также данные патентной базы Orbit Intelligence, аккумулирующей информацию о более чем 122 млн патентных публикаций из 120 патентных ведомств, включая Роспатент.

ТРЕНДЫ РАЗВИТИЯ КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ МЕДИЦИНЫ И КЛЮЧЕВЫЕ СЕКТОРА ИХ КОММЕРЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Квантовые технологии, основанные на использовании принципов квантовой механики, открывают новые возможности для разработки лекарственных средств, улучшения качества диагностики, защиты медицинской информации и персональных данных, повышения стандартов качества оказания медицинской помощи и обоснованности принятия врачебных решений.

В аналитическом обзоре «Квантовые технологии для медицины. Новые подходы в вычислениях, защите данных и сенсорики – 2024» отмечается, что тремя ключевыми секторами применения квантовых технологий в здравоохранении являются квантовые вычисления, квантово-устойчивые решения кибербезопасности и квантовые сенсоры [18]. Анализ научных статей и обзоров позволил выделить расширенный перечень возможных направлений использования квантовых технологий в медицине. Рассмотрим их подробнее в рамках этих трех секторов.

Квантовые вычисления находятся на переднем крае вычислительных инноваций,

используя внутренние принципы квантовой механики для обработки информации способом, принципиально отличным от классических вычислительных парадигм. В основе квантовых вычислений лежат явления суперпозиции и запутанности, наделяющие их способностью выполнять сложные вычисления экспоненциально быстрее, чем их классические аналоги [19]. Квантовые вычисления находят широкое применение в решении сложных теоретических и практических задач здравоохранения:

- в разработке и создании новых материалов с уникальными свойствами, например, более точных и эффективных медицинских инструментов;
- в моделировании сложных систем, таких как биологические процессы в организме человека, с использованием мощностей квантовых компьютеров, что может быть использовано при разработке новых методов лечения и диагностики заболеваний;
- для оптимизации процессов управления здравоохранением, таких как планирование ресурсов, мониторинг логистических процессов;
- при создании новых методов лечения заболеваний, основанных на принципах квантовой физики;
- при разработке алгоритмов на основе квантовых вычислений, симулирующих взаимодействие молекул с высокой точностью [20] и позволяющих предсказывать их поведение, что делает отбор кандидатов на роль лекарственных средств быстрым и эффективным, ускоряя фармацевтические разработки;
- для ускорения процесса обработки массивных объемов генетической информации, полученных в ходе секвенирования ДНК.

Квантово-устойчивые решения кибербезопасности направлены на обеспечение сохранности конфиденциальной информации и включают:

- квантовую криптографию, которая позволяет обеспечить безопасную передачу данных, что особенно важно при обмене информацией о пациентах;
- квантовое распределение ключей, используемое для шифрования и аутентификации данных, при которых медицинские учреждения могут обмениваться ключами с использованием квантовой физики, что предотвращает их перехват;

- модели квантовой аутентификации, разработанные для защиты систем управления медицинскими устройствами.

Квантовые сенсоры и датчики используются для высокоточной диагностики и мониторинга физиологических параметров, повышая чувствительность диагностических инструментов для раннего выявления заболеваний. Благодаря способности таких устройств обнаруживать крайне слабые магнитные и электрические поля, квантовые сенсоры находят практическое применение в таких медицинских технологиях, как:

- магнитоэнцефалография, где квантовые сенсоры для мониторинга магнитных полей мозга позволяют диагностировать эпилепсию и другие неврологические расстройства;
- магнитокардиография, в которой квантовые сенсоры используются при диагностике аритмий и ишемических заболеваний;
- мониторинг кислорода и биомолекул для максимально быстрого выявления изменений в жизненно важных показателях работы организма пациента.

В качестве ключевых бенефициаров использования квантовых технологий в здравоохранении следует рассматривать, прежде всего, фармацевтические компании и биотехнологические стартапы, которые могут сократить время моделирования и тестирования лекарств, повысить точность прогнозирования побочных эффектов лекарственных средств и взаимодействий лекарственных препаратов за счет использования квантовых вычислений, ускорить анализ больших данных и оптимизировать протоколы клинических исследований.

Примером успешной коммерциализации квантовых технологий фармкомпаниями является совместная разработка компаний Pfizer и IBM, завершившаяся созданием программы IBM Quantum, в которой квантовые вычисления используются для молекулярного моделирования и прогнозирования взаимодействий лекарств [21]. Результатом сотрудничества компании Biogen, специализирующейся на лечении заболеваний центральной нервной системы, с компанией Accenture Labs стало применение квантовых алгоритмов для анализа и моделирования белков, связанных с болезнью Альцгеймера и другими нейродегенеративными заболеваниями [22].

Для медицинских организаций и диагностических центров использование квантовых

сенсоров и датчиков открывает перспективы повышения качества диагностических процедур и мониторинга пациентов, ускорения секвенирования ДНК и анализа генетических мутаций. Технологии квантового шифрования позволяют оказывать телемедицинские услуги без риска утраты персонализированных медицинских данных. Дополнительными областями коммерческого применения квантовых технологий в этом секторе являются разработка новых методов лечения и улучшение алгоритмов анализа медицинских изображений, таких как МРТ, КТ и рентген, что позволяет быстрее выявлять патологии.

Медицинские и клинично-диагностические центры уже сегодня активно изучают перспективы внедрения квантовых технологий в свою работу. Так, Госпиталь университета Тохоку совместно с Университетом Тохоку, Национальным институтом информационных и коммуникационных технологий Японии и компанией Toshiba разработали первую в мире систему для оказания персонализированных медицинских услуг, которая хранит данные геномов многих пациентов. Представленная в 2022 г. система применяет квантовое распределение ключей, обеспечивает доступ на основе персональной аутентификации и индивидуального согласия на использование данных, предотвращает утечку и потерю данных. Проект был поддержан Советом по науке, технологиям и инновациям Японии (CSTI) и частично реализован в рамках национальной программы «Фотоника и квантовые технологии для общества 5.0» [23].

Оценив высокий коммерческий потенциал применения квантовых технологий в здравоохранении целый ряд транснациональных компаний, таких как IBM, Siemens Healthineers, Google Health, Intuitive Surgical, Roche и др., инициировал проведение НИОКР в этой области. Одновременно ведущие университеты мира включились в коммерциализацию разработанных инновационных решений через механизмы лицензирования патентов, создание университетских стартапов или выполнения совместных с промышленными партнерами НИОКР, например, Microsoft и Case Western Reserve University сотрудничают для использования квантовых технологий в моделировании биомолекулярных процессов, включая изучение сворачивания белков и изучение взаимодействия молекул с

клеточными мембранами. Также в рамках этого сотрудничества и использования подхода Magnetic Resonance Fingerprinting удалось улучшить точность результатов МРТ на 30% и сократить время сканирования до трех раз по сравнению с традиционными методами [24].

Медицинские ассоциации, национальные институты здравоохранения, организации по охране здоровья и пр. рассматривают квантовые технологии как инструмент повышения эффективности управления медицинскими ресурсами и обеспечения безопасной обработки данных. Примером применения квантовых технологий для управления национальной системой здравоохранения может служить внедрение квантовой криптографии для защиты передачи медицинских данных между организациями здравоохранения и исследовательскими центрами Национальной службой здравоохранения Великобритании [25]. По оценкам оператора проекта по внедрению квантовых технологий в сектор здравоохранения, только планирование операционной деятельности и распределение пациентов неотложной помощи с повышением эффективности процесса всего на 1% потенциально способно обеспечить экономию около 1,5 млрд фунтов стерлингов в год [25].

M. Shams с соавторами [26] представили ретроспективный обзор влияния квантовых

технологий на здравоохранение, который манифестирует необходимость развития междисциплинарного сотрудничества и объединении опыта и знаний в квантовой физике, медицине и науке о данных для достижения прорывных результатов в этой области. Разработка надежных и масштабируемых квантовых технологий, подходящих для медицинских учреждений, по мнению авторов обзора, должна стать приоритетом исследователей в области квантового здравоохранения.

АНАЛИЗ ПАТЕНТНЫХ ЛАНДШАФТОВ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МЕДИЦИНЕ

Для анализа патентной активности в области разработки квантовых технологий для здравоохранения был выполнен поиск в патентной базе Orbit Intelligence. По состоянию на 01.11.2024 г., по ключевому слову «квантовый» с ограничением по коду МПК А61 «Медицина и ветеринария; гигиена» (поисковый образ ((Quantum)/TI/AB/OBJ/ADB/ICLM AND (A61#)/IPC)) найдено 6980 патентных семейств, из которых действующие составляли чуть более половины – 3721. Распределение действующих патентных семейств в области квантовых технологий, отнесенных к медицине, ветеринарии и гигиене, по первому году публикации представлено на рисунке 1.

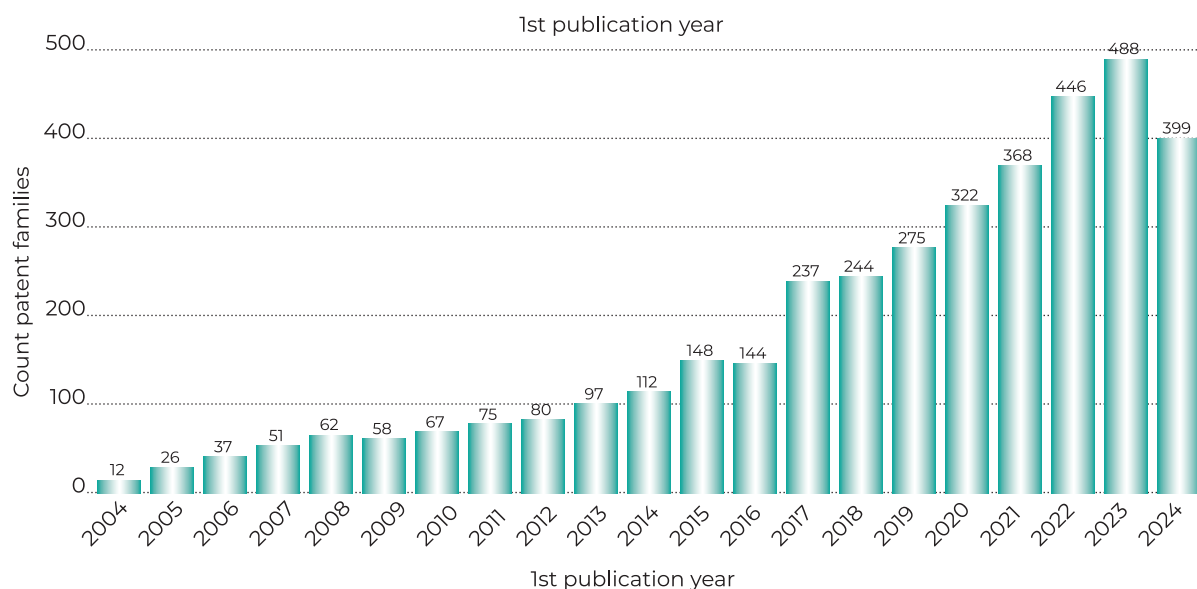


Рисунок 1 — Распределение действующих патентных семейств в области квантовых технологий, отнесенных к коду МПК «Медицина и ветеринария; гигиена» по первому году публикации. Данные Orbit Intelligence на 01.11.2024 г.

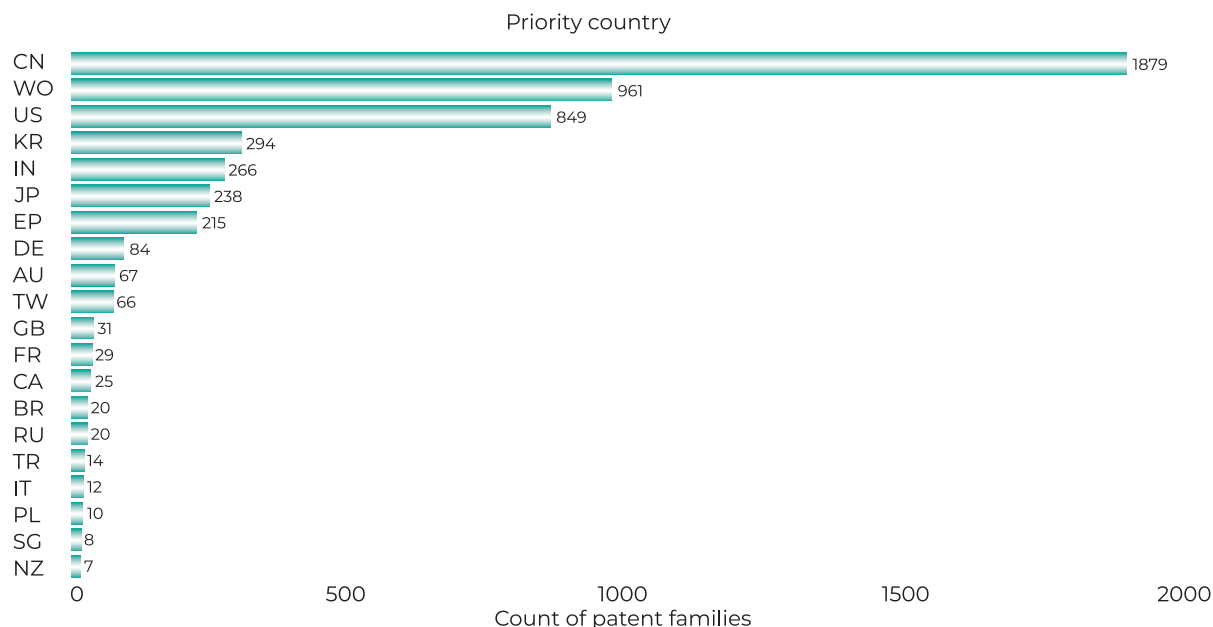


Рисунок 2 — Топ-20 стран приоритета действующих патентных семейств в области квантовых технологий, отнесенных к коду МПК «Медицина и ветеринария; гигиена». Данные Orbit Intelligence на 01.11.2024 г.

Странами-лидерами по числу действующих патентных семейств в области квантовых технологий в анализируемой области (в распределении по стране приоритета) являются Китай, США, Южная Корея, Индия, Япония (Рисунок 2). В исследуемой выборке 20 патентных семейств имеют российский приоритет, что соответствует доли в 1,2% от общемирового объема патентных семейств.

В число топ-20 патентообладателей действующих патентных семейств вошли как крупнейшие транснациональные корпорации (такие, как Siemens, Philips, Canon, Fujifilm, General Electric), так и университеты (например, Beijing University of Chinese Medicine, Wuhan University, Johns Hopkins University). В таблице 1 представлены топ-20 патентообладателей действующих патентных семейств в области квантовых технологий, отнесенных к коду МПК «Медицина и ветеринария; гигиена». При этом патентные семейства, принадлежащие университетам, выходят за пределы национальной юрисдикции, т.е. опубликованы более чем в одной стране (Рисунок 3).

Анализ концепций действующих патентных семейств в анализируемой области показал, что максимальные усилия изобретателей сосредоточены на таких областях, как технологии визуализации, использование источников света, использование квантовых технологий для изучения живых систем, диагностики и лечения, облучение и рентгеновские лучи (Рисунок 4).

Данные Orbit Intelligence о числе внешних ссылок на действующие патентные семейства в области квантовых технологий, отнесенных к коду МПК «Медицина и ветеринария; гигиена», свидетельствуют о высоком значении некоторых из зарегистрированных изобретений для развития этой области техники. Так, наиболее цитируемые патентные семейства получили от 150 до 800 внешних цитат. В качестве примера приведем топ-5 патентных семейств, получивших максимальный уровень цитирования (более 400 внешних ссылок).

1. JP2014133893 – Наночастицы на основе флуоресцентного кремнезема (англ. – Fluorescent silica-based nanoparticle), 720 внешних ссылок. Патент описывает технологию создания

Таблица 1 — Топ-20 патентообладателей действующих патентных семейств в области квантовых технологий, отнесенных к коду МПК «Медицина и ветеринария; гигиена». Данные Orbit Intelligence на 01.11.2024 г.

	Патентообладатель	Число патентных семейств
1	SIEMENS HEALTHINEERS	43
2	BEIJING UNIVERSITY OF CHINESE MEDICINE	25
3	SHENZHEN INSTITUTE OF ADVANCED TECHNOLOGY - CHINESE ACADEMY OF SCIENCES	23
4	PHILIPS	21
5	CANON	18
6	BEIHANG UNIVERSITY OF AERONAUTICS & ASTRONAUTICS	17
7	WUHAN UNIVERSITY	17
8	FUDAN UNIVERSITY	15
9	JOHNS HOPKINS UNIVERSITY	15
10	LPU - LOVELY PROFESSIONAL UNIVERSITY	15
11	NANJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY	15
12	SICHUAN UNIVERSITY	15
13	SOOCHOW UNIVERSITY	15
14	SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY	15
15	CNRS - CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE	14
16	FUZHOU UNIVERSITY	14
17	SEOUL NATIONAL UNIVERSITY R&DB FOUNDATION	14
18	FUJIFILM	13
19	GENERAL ELECTRIC	13
20	SHENZHEN UNIVERSITY	13

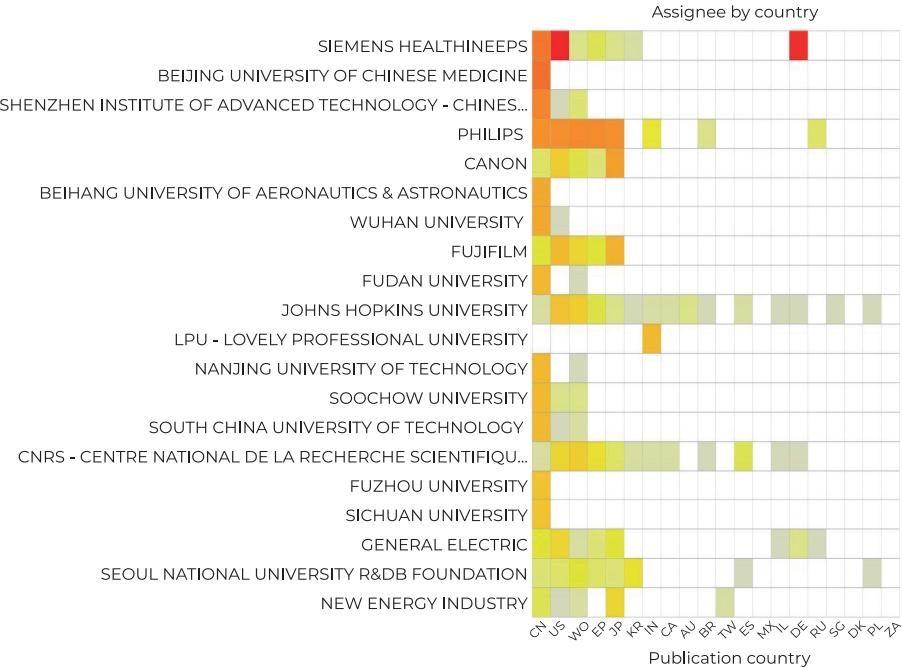


Рисунок 3 — Страны публикации топ-20 патентообладателей действующих патентных семейств в области квантовых технологий, отнесенных к коду МПК «Медицина и ветеринария; гигиена». Данные Orbit Intelligence на 01.11.2024 г.

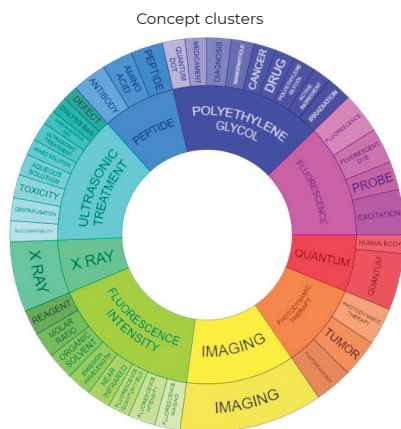


Рисунок 4 — Концепции действующих патентных семейств в области квантовых технологий, отнесенных к коду МПК «Медицина и ветеринария; гигиена».

Данные Orbit Intelligence на 01.11.2024 г.

флуоресцентных наночастиц на основе диоксида кремния с использованием квантовых точек, которые представляют собой наночастицы с уникальными оптическими свойствами. Благодаря своим оптическим свойствам, квантовые точки могут излучать свет под воздействием определенной длины волны. В этом патенте они используются для создания стабильного флуоресцентного сигнала. Флуоресцентные свойства квантовых точек делают их высокоэффективными для обнаружения биомолекул, меток или диагностики, поскольку они обладают высокой интенсивностью и четкостью сигнала. Изобретение обеспечивает контроль фотофизических свойств молекул красителя, инкапсулированных в частицы кремния размером до 30 нм и ниже, может быть использовано в медицине и биологии для флуоресцентной диагностики, фотодинамической и фототермической терапии, фотохимической стерилизации запасов крови.

2. IN467381 – Батарея с внутренним микроконтроллером, который потребляет различные токи из ячеек внутри батареи в зависимости от температуры батареи (англ. – Battery with an internal microcontroller that draws different currents from the cells internal to the battery based on the temperature of the battery), 666 внешних ссылок. В этом патенте квантовые технологии представлены через предложение по использованию квантовых

датчиков и материалов для повышения эффективности и точности мониторинга состояния батареи. Квантовые датчики повышают точность температурного контроля, улучшают энергоэффективность, а также обеспечивают более точное и безопасное управление током внутри батареи. Изобретение может быть использовано в производстве носимых устройств для мониторинга и диагностики состояния пациента.

3. US10878936 – Интегрированный биосенсор и система моделирования для диагностики и терапии (англ. – Integrated biosensor and simulation system for diagnosis and therapy), 518 внешних ссылок. Квантовые технологии играют в этом патенте роль в повышении точности и эффективности диагностики и терапии через квантовые биосенсоры и высокопроизводительное моделирование. Устройство BioMEMS/NEMS контролирует биологические показатели человека, используя биосенсоры.
4. JP5283764 – Методы и устройства подтверждения достоверности данных датчиков (англ. – Methods and apparatus for confirming accuracy of data from sensors), 474 внешние ссылки. Квантовые технологии в этом патенте используются для повышения надежности и точности измерений, а также для обеспечения уверенности в точности передаваемых данных за счет использования квантовых датчиков, алгоритмов анализа, методов

шифрования и меток времени. Эти подходы помогают минимизировать погрешности, защищать данные и обеспечивать их целостность, что делает систему более надежной и точной. Изобретение выполняет проверку целостности датчиков в системе мониторинга уровня глюкозы.

5. JP2024074937 – Метод и набор для клеточной иммунотерапии (англ. – Method and compositions for cellular immunotherapy), 411 внешних ссылок. Патент описывает методы клеточной иммунотерапии, направленной на борьбу с онкологическими и другими заболеваниями путем активации иммунной системы пациента. Квантовые технологии в данном патенте могут использоваться для улучшения точности диагностики при помощи квантовых датчиков, мониторинга иммунного ответа и разработки индивидуализированных терапевтических подходов с использованием квантовых вычислений и квантовых биомаркеров. Изобретение может быть использовано для обеспечения и/или усиления иммунных ответов, опосредованных клеточной иммунотерапией.

К числу действующих патентных семейств в области квантовых технологий, отнесенных к коду МПК «Медицина и ветеринария; гигиена» с приоритетом России, относятся следующие:

- RU2811935 «Лечение резистентного бактериального кератита с помощью мягкой контактной линзы на квантовых точках», патентообладатель – Екатеринбургский центр МНТК «Микрохирургия глаза»;
- RU2794820 «Способ мониторинга выдыхаемого пациентом воздуха для прогноза декомпенсации сахарного диабета», патентообладатель – Центр прикладной физики МГТУ им. Н.Э. Баумана;
- RU2743993 «Комплекс для детекции и направленного разрушения клеток», патентообладатель – МИСиС;
- RU196226 «Носитель для диагностики, направленной доставки и контролируемого высвобождения лекарственных средств», патентообладатель – НИЯУ МИФИ;
- RU2629390 «Фотосенсибилизатор на основе полупроводниковых квантовых точек и хлорина е6», патентообладатель – ИТМО;
- RU2695130 «Способ получения коллоидных

квантовых точек селенида кадмия в оболочке хитозана», патентообладатель – Алтайский государственный университет.

Большая часть из 19 действующих патентных семейств в анализируемой области с приоритетом России принадлежит российским вузам, пять патентных семейств – физическим лицам и лишь два – коммерческим компаниям.

ИСТОРИЯ УСПЕХОВ СОЗДАНИЯ РЫНОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ НА ОСНОВЕ КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Как уже было отмечено, компании промышленного сектора инвестируют в развитие квантовых технологий значительные средства, что позволило им в короткие сроки не только создать принципиально новые технические решения, но и превратить их в коммерческие продукты на внутренних и внешних рынках. В качестве историй успехов создания рыночных продуктов для здравоохранения на основе квантовых технологий можно отметить следующие.

- Квантовые компьютеры и программное обеспечение для моделирования сложных систем, таких как биологические процессы в организме человека от **IBM Quantum** (подразделения американской компании IBM). Компания обеспечивает пользователям удаленный доступ к квантовым компьютерам через платформу IBM Cloud, предоставляет обучающие материалы для использования квантовых вычислений в различных областях, например, моделирования молекулярного поведения и химических реакций. Для работы с квантовыми компьютерами IBM предоставляет инструменты разработки, такие как Qiskit (уже имеющий более 600 тысяч пользователей и используемый 700 университетами по всему миру) [27].
- Облачные услуги для разработки и запуска квантовых алгоритмов от **Microsoft Azure Quantum** – подразделения компании Microsoft. Azure Quantum включает в себя набор инструментов для разработки, тестирования и оптимизации квантовых алгоритмов Azure Quantum Development Kit (QDK) и сервиса Azure Quantum Service, предоставляющего доступ к реальным квантовым системам [28].
- **Google Cloud Quantum AI** – инструмент для создания и запуска квантовых алгоритмов

на облачной платформе от Google. Сервис включает в себя три составляющих: среду выполнения для квантовых алгоритмов Qiskit Runtime for Google Cloud, оптимизированные библиотеки машинного обучения для разработки и запуска квантовых моделей машинного обучения, средства для обработки и анализа данных, которые могут быть использованы в квантовых алгоритмах [29].

- Квантовые процессоры, которые могут быть использованы для оптимизации процессов в здравоохранении от американской компании **IonQ**. Квантовые компьютеры IonQ обеспечивают высокую точность и стабильность работы квантовых систем, и могут решать сложные задачи, недоступные для классических компьютеров. Раскрытые характеристики квантовой системы IonQ Aria 5-го поколения были самыми производительными в мире среди коммерчески доступных технических решений (по состоянию на январь 2024 г.). Скорость расчетов и технические преимущества IonQ Aria основались на использовании 21 производительного кубита со средней точностью 99,95–99,61% [30].
- Квантовые сенсоры и датчики для повышения точности и чувствительности диагностических инструментов от **Honeywell Quantum Solutions** (дочерняя компания американской Honeywell) [31].

Honeywell Quantum Solutions выпускает ряд продуктов, которые могут быть использованы в различных областях медицины:

- квантовые гироскопы для навигации и ориентации в пространстве, могут найти применение в медицинских устройствах, таких как роботы-хирурги или экзоскелеты;

- квантовые акселерометры для измерения ускорения, могут использоваться для мониторинга состояния пациента, например, при травмах или во время реабилитации;
- квантовые магнитометры для измерения магнитного поля, могут применяться для диагностики заболеваний, связанных с изменением магнитного поля организма, таких как эпилепсия или болезнь Альцгеймера [31].

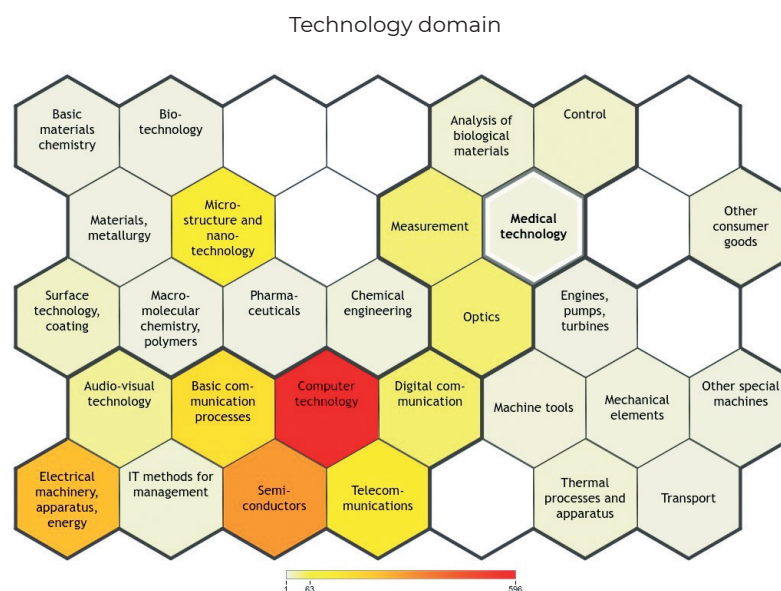
Обращает на себя внимание отсутствие у IBM, Microsoft, Google, IonQ и Honeywell объемного портфеля патентных семейств, отнесенных к медицине, ветеринарии и гигиене, ни одна из перечисленных компаний не имеет более пяти действующих патентных семейств по классу МПК А61.

Анализ действующих патентных семейств всех пяти компаний показал, что для изобретений, основанных на использовании квантовых технологий, не указываются коды МПК из раздела А «Удовлетворение жизненных потребностей человека» (Таблица 2).

Рисунок 5 отображает распределение патентных семейств компании IBM в области квантовых технологий по технологическим областям. На рисунке в соответствии с кодами МПК, присвоенными изобретению в патентной заявке патентообладателем, отмечены: красным цветом – наиболее часто встречающиеся технологические области, оранжевым и желтым – менее часто встречающиеся технологические области. Как свидетельствуют данные Orbit Intelligence, наиболее часто квантовые технологии относятся к таким областям, как компьютерные технологии; электрооборудование, аппаратура и энергетика; полупроводники.

Таблица 2 — Число действующих патентных семейств, основанных на использовании квантовых технологий, компаний IBM, Microsoft, Google, IonQ и Honeywell. Данные Orbit Intelligence на 01.11.2024 г.

Компания	Число действующих патентных семейств	
	всего	отнесенных к области медицины
IBM	746	3
Microsoft	300	5
Google	210	0
IonQ	110	0
Honeywell	47	0



© Questel 2024

Рисунок 5 — Распределение действующих патентных семейств компании IBM в области квантовых технологий по технологическим областям.

Данные Orbit Intelligence на 01.11.2024 г.

Таким образом, следует отметить, что несмотря на признание широких возможностей использования квантовых технологий в области медицины, ведущие компании-поставщики коммерческих решений не создают узкоспециализированные продукты и технологии только для медицинских целей.

В числе основных глобальных технологических лидеров в области квантовых вычислений наряду с перечисленными транснациональными корпорациями можно также отметить Intel, D-Wave Systems, Rigetti, Alibaba Group, Nvidia и Baidu. Кроме того, значимый вклад в развитие отрасли вносят стартапы Q-CTRL, Pasqal, QC Ware, Zapata Computing, 1QBit, ColdQuanta, Atom Computing и PsiQuantum.

Компания IBM наряду с развитием квантовых вычислений, которые могут быть использованы в различных сферах, реализует точечные проекты в области медицины. Так, в 2021 г. IBM совместно с клиникой Кливленда (Cleveland Clinic) открыла Discovery Accelerator – исследовательский центр для НИОКР в области биологии и здравоохранения с использованием технологий искусственного интеллекта и высокопроизводительных квантовых вычислений [32]. В 2023 г.

IBM начала реализацию совместного с компанией Moderna проекта, направленного на разработку оптимального материала для липидной оболочки, позволяющей доставить мРНК в целевую клетку [33].

Некоторые примеры использования квантовых технологий в области здравоохранения приводятся в аналитическом отчете 2024 г., подготовленном коллективом авторов под руководством А.К. Федорова [18]. Например, разработка стартапом Strand Therapeutics платформы для создания программируемых мРНК-терапевтических препаратов длительного действия; реализация проекта OpenQKD по использованию технологий квантовых коммуникаций для защиты цифровых медицинских снимков и генетических данных учеными Медицинского университета Граца (Австрия) и компании FragmentiX, и другие.

В числе российских компаний, вовлеченных в разработку технических решений на основе квантовых технологий для медицины, можно отметить научно-производственную компанию QRate, в портфеле проектов которой создание квантовых сенсоров и датчиков, повышающих точность и чувствительность диагностических

инструментов. Значительные ресурсы в разработку квантового компьютера, который может быть использован для моделирования сложных систем, таких как биологические процессы в организме человека, вкладывает ГК «Росатом». В числе других российских компаний можно отметить стартапы Куборд, QApp, и QLU. Так, например, Куборд совместно с Российским квантовым центром и компанией Genotek разработала методику сборки генома с использованием квантовых алгоритмов, что существенно облегчило изучение новых видов и структурных изменений ДНК [18].

В целом, несмотря на то, что в Российской Федерации функционирует целый ряд центров по развитию квантовых технологий (Российский квантовый центр, Казанский квантовый центр, Центр квантовых технологий при МГУ, Центр компетенций НТИ «Квантовые коммуникации» при МИСИС), бюджет каждого из которых оценивается примерно в 6 млн евро в год, применению квантовых технологий в здравоохранении в этих центрах уделяется достаточно скромное внимание, ограничивающееся преимущественно разработкой квантовых сенсоров, которые в т.ч. могут быть использованы в сфере биомедицины [34]. Кроме того, развитие квантовых технологий также ограничено введением санкций со стороны США и Евросоюза [35].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Квантовые технологии на сегодняшний день оформились в глобальный тренд научно-технологического развития, предлагая использовать новые подходы к решению сложных задач в разных отраслях.

Как показывают прогнозы ведущих аналитических агентств и научного сообщества, внедрение квантовых технологий в национальные системы здравоохранения способно привести к значительным трансформациям: от ускоренной разработки лекарственных препаратов и персонализированного планирования лечения до обеспечения беспрецедентно высокого уровня безопасности передачи данных в рамках оказания телемедицинских услуг. В первую очередь это будет касаться более эффективного использования таких технологий, как искусственный интеллект и машинное обучение. Наряду с широкими перспективами применения

квантовых технологий в отрасли здравоохранения, их развитие и внедрение в практическую деятельность сопряжено с рядом проблем и барьеров, в числе которых следует отметить следующие:

- Технические ограничения, связанные с отсутствием стабильно работающих квантовых компьютеров и устройств с необходимым набором характеристик. Во-первых, для поддержания состояния запутанности и суперпозиции и проведения квантовых расчетов должны быть созданы условия сохранения свойств кубитов, а именно – сверхнизкие температуры, что усложняет использование квантовых компьютеров в медицинских учреждениях. Во-вторых, недостаточная стабильность кубитов и их подверженность влиянию тепла и шума приводит к невозможности проведения сложных вычислений, требующих значительного времени и точности. Современные квантовые устройства пока не достигли уровня устойчивости и масштабируемости, необходимого для их повсеместного использования в медицине, а высокий уровень ошибок и трудности в создании стабильных квантовых кубитов ограничивают их применение в клинической практике.
- Высокая стоимость квантовых исследований и оборудования, а также затраты на клинические исследования, подтверждающие эффективность квантовых технологий в реальных медицинских применениях. Квантовые вычисления, по крайней мере первое время, будут применяться точечно для решения специфических задач [18].
- Дефицит достаточного числа высококвалифицированных кадров и мультидисциплинарных коллективов, владеющих знаниями в области физики, математики, информатики и медицины (как на этапе НИОКР, так и на этапе использования готовых технологий).
- Сложности интеграции с существующими медицинскими системами, использующими иные принципы работы и обработки данных.
- Отсутствие стандартизации и регулирования применения квантовых технологий в медицинской практике.

Для Российской Федерации актуальны все вышеперечисленные детерминанты развития квантовых технологий в медицине и в

здравоохранении. Их перечень дополняется и некоторыми специфическими ограничениями: низкой активностью частного сектора и венчурных фондов в финансировании НИОКР; меньшим числом лабораторий и ресурсов по

сравнению со странами-лидерами данного направления; отсутствием развитой базы для производства собственных высокотехнологичных квантовых компонентов и зависимость от импортного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Скорочкин А. Квантовая готовность: ждет ли бизнес новая технологическая революция // Форбс. 28.10.2024. Доступно по: <https://www.forbes.ru/mneniya/523766-kvantovaa-gotovnost-zdet-li-biznes-novaa-tehnologiceskaa-revolucia>. Ссылка активна на 01.11.2024. [Skorochkin A. Kvantovaja gotovnost': zhdet li biznes novaja tehnologicheskaja revoljucija. Forbs. 2024 Oct 28. Available at: <https://www.forbes.ru/mneniya/523766-kvantovaa-gotovnost-zdet-li-biznes-novaa-tehnologiceskaa-revolucia>. Accessed Oct 28. 2024. (In Russ.)]
2. Global Quantum Technology [Internet]. EPIC; 2024. Available at: https://epic-photonics.com/market_reports/quantum-technology/#:~:text=The%20total%20market%20value%20for,to%20%24650M%20in%202030.
3. Quantum Technology Monitor [Internet]. McKinsey; 2024. Available at: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/steady%20progress%20in%20approaching%20the%20quantum%20advantage/quantum-technology-monitor-april-2024.pdf>. Accessed Nov 11, 2024.
4. Исследование «Рексофт Консалтинг»: объем рынка квантовых вычислений в России к 2040 году может превысить 250 млрд рублей [интернет]. Рексофт Консалтинг, 26.08.2024. Доступно по: <https://www.reksoft.ru/blog/2024/08/26/reksoft-consulting-quantum-computing-research>. Ссылка активна на 01.11.2024. [Issledovanie «Reksoft Konsalting»: ob'em rynka kvantovyh vychislenij v Rossii k 2040 godu mozhet prevysit' 250 mlrd rublej [internet]. Reksoft Konsalting, 26.08.2024. Available at: <https://www.reksoft.ru/blog/2024/08/26/reksoft-consulting-quantum-computing-research>. Accessed Nov 1, 2024. (In Russ.)]
5. Mushtaque A. 16 Most Advanced Countries in Quantum Computing [Internet]. Yahoo Finance; 2023 Dec 6. Available at: <https://finance.yahoo.com/news/16-most-advanced-countries-quantum-131132253.html>. Accessed Nov 11, 2024.
6. Fedorov AK, Gelfand M. Towards practical applications in quantum computational biology. *Nature Computational Science*. 2021; 1: 114-119. doi: 10.1038/s43588-021-00024-z/
7. Watts DP, Bordes J, Brown JR, et al. Photon quantum entanglement in the MeV regime and its application in PET imaging. *Nature Communications*. 2021; 12: 2646. doi: 10.1038/s41467-021-22907-5.
8. Ruzycka-Ayoush M, Kowalik P, Kowalczyk A, et al. Quantum dots as targeted doxorubicin drug delivery nanosystems in human lung cancer cells. *Cancer Nanotechnology*. 2021; 12: 8. doi: 10.1186/s12645-021-00080-0.
9. Harishankar R, Muppidi S, Osborne M, et al. Security in the quantum computing era. IBM Institute for Business Value. 2023 Jan 25. Available at: <https://www.ibm.com/downloads/cas/EZEGKEB5>. Accessed Nov 11, 2024.
10. Solenov D, Brieler J, Scherrer JF. The Potential of Quantum Computing and Machine Learning to Advance Clinical Research and Change the Practice of Medicine. *Mo Med*. 2018; 115(5): 463-467.
11. Dilsizian SE, Siegel EL. Artificial intelligence in medicine and cardiac imaging: harnessing big data and advanced computing to provide personalized medical diagnosis and treatment. *Curr Cardiol Rep*. 2014; 16(1): 441. doi: 10.1007/s11886-013-0441-8.
12. Quantum computing in healthcare market [Internet]. Market US; 2023. Available at: <https://market.us/report/quantum-computing-in-healthcare-market/#:~:text=Global%20Quantum%20Computing%20in%20Healthcare%20Market%20size%20is%20expected%20to,period%20from%202023%20to%202033>. Accessed Nov 11, 2024.
13. Цифровые технологии [интернет]. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Доступно по: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/878>. Ссылка активна на 01.11.2024. [Cifrovye tekhnologii [internet]. Ministerstvo cifrovogo

- razvitiya, svyazi i massovyh kommunikacij Rossijskoj Federacii. Available at: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/878>. Accessed Nov 1, 2024. (In Russ.)]
14. Национальная стратегия [интернет]. ИИ РФ. Доступно по: <https://ai.gov.ru/national-strategy>. Ссылка активна на 01.11.2024. [Nacional'naya strategiya [internet]. II RF. Available at: <https://ai.gov.ru/national-strategy>. Accessed Nov 1, 2024. (In Russ.)]
15. Гурбанмырадова Л., Имамова Г., Гыльдзхов М., Мяхремгулыйев Йе. Будущее квантовых вычислений: революционные изменения в различных отраслях // Всемирный ученый. – 2024. – Т.1. – Вып. 25. [Gurbanmyradova L, Imamova G, Gylydzhov M, Mjahremgulyjev Ye. Budushhee kvantovyh vychislenij: revoljucionnye izmenenija v razlichnyh otrasljah. Vsemirnyj uchenyj. 2024; 1(25). (In Russ.)]
16. Кабарухин А.П., Камалиденов К.Ш., Култазин Н.М., Ангапов В.Д. Перспективы использования квантовых компьютеров // Наука и образование сегодня. – 2022. – С.31-37. [Kabaruhin AP, Kamalidenov KSh, Kultazin NM, Angapov VD. Perspektivy ispol'zovaniya kvantovyh komp'yutеров. Nauka i obrazovanie segodnja. 2022: 31-37. (In Russ.)]
17. Раткин Л.С. Квантовые коммуникации и квантовые технологии для мониторинга качества медицинского обслуживания и моделирования процессов в сфере демографии // Россия: тенденции и перспективы развития. – 2022. – С.981-982. [Ratkin LS. Kvantovye kommunikacii i kvantovye tehnologii dlja monitoringa kachestva medicinskogo obsluzhivaniya i modelirovaniya processov v sfere demografii. Rossiya: tendencii i perspektivy razvitija. 2022: 981-982. (In Russ.)]
18. Квантовые технологии для медицины. Новые подходы в вычислениях, защите данных и сенсорике [интернет]. РКЦ; 2024. Доступно по: https://cdnweb.roscongress.org/upload/medialibrary/51b/qoj849o65fbxhsly3l9l5xvaz3wd1ha/FBT_12_02_2024_V2.pdf?170774935322904136. Ссылка активна на 01.11.2024. [Kvantovye tekhnologii dlya mediciny. Novye podhody v vychisleniyah, zashchite dannyh i sensorike [internet]. RKC; 2024. Available at: https://cdnweb.roscongress.org/upload/medialibrary/51b/qoj849o65fbxhsly3l9l5xvaz3wd1ha/FBT_12_02_2024_V2.pdf?170774935322904136. Accessed Nov 1, 2024. (In Russ.)]
19. Nielsen MA, Chuang IL. Quantum Computation and Quantum Information: 10th Anniversary Edition. Cambridge: Cambridge University Press; 2010.
20. Peruzzo A, McClean J, Shadbolt P, et al. A variational eigenvalue solver on a photonic quantum processor. Nature Communications. 2014; 5: 4213. doi: 10.1038/ncomms5213.
21. Optimizing clinical trial site performance: A focus on three AI capabilities [Internet]. IBM. 2023 Aug 7. Available at: <https://www.ibm.com/think/topics/clinical-trial-optimization-ai>. Accessed Nov 11, 2024.
22. Pioneering quantum computing in R&D [Internet]. Accenture. Available at: <https://www.accenture.com/us-en/case-studies/life-sciences/quantum-computing-advanced-drug-discovery>. Accessed Nov 11, 2024.

23. Toshiba, ToMMo, Tohoku University Hospital, and NICT Link Quantum Security and Personal Authentication, Successfully Deliver Secure Personalized Healthcare Use Case [Internet]. NICT, 2022 Dec 28. Available at: <https://www.nict.go.jp/en/press/2022/12/28-1.html>. Accessed Nov 11, 2024.
24. Collaboration with Microsoft on our innovative MRI approach yields major gains, offering promise of earlier disease diagnosis [Internet]. Case Western Reserve University. Available at: <https://case.edu/mrf>. Accessed Nov 11, 2024.
25. Investigating the application of near-term quantum computing techniques to addressing operational healthcare use cases important to NHS health and care provision [Internet]. National Quantum Computing Center. Available at: <https://www.nqcc.ac.uk/investigating-the-application-of-near-term-quantum-computing-techniques-to-addressing-operational-healthcare-use-cases-important-to-nhs-health-and-care-provision>. Accessed Nov 11, 2024.
26. Shams M, Choudhari J, Reyes K, et al. The Quantum-Medical Nexus: Understanding the Impact of Quantum Technologies on Healthcare. *Cureus*. 2023; 15(10): e48077. doi: 10.7759/cureus.48077.
27. Qiskit: The software for quantum performance [Internet]. IBM. Available at: <https://www.ibm.com/quantum/blog/quantum-software-vision>. Accessed Nov 11, 2024.
28. Release notes for the Quantum Development Kit (QDK) and Azure Quantum [Internet]. Microsoft, 2024 Sep 13. Available at: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/quantum/release-notes>. Accessed Nov 11, 2024.
29. Explore Quantum AI [Internet]. Google. Available at: <https://quantumai.google>. Accessed Nov 11, 2024.
30. IonQ Aria: Practical Performance [Internet]. IonQ, 2024 Jan 18. Available at: <https://ionq.com/resources/ionq-aria-practical-performance>. Accessed Nov 11, 2024.
31. Honeywell Quantum Solutions [Internet]. Honeywell. Available at: <https://www.honeywell.com/us/en/company/quantum>. Accessed Nov 11, 2024.
32. Cleveland Clinic and IBM Unveil Landmark 10-Year Partnership to Accelerate Discovery in Healthcare and Life Sciences [Internet]. IBM, 2021 Mar 30. Available at: <https://newsroom.ibm.com/2021-03-30-Cleveland-Clinic-and-IBM-Unveil-Landmark-10-Year-Partnership-to-Accelerate-Discovery-in-Healthcare-and-Life-Sciences>. Accessed Nov 11, 2024.
33. Moderna and IBM to Explore Quantum Computing and Generative AI for mRNA Science [Internet]. IBM, 2023 Apr 20. Available at: <https://newsroom.ibm.com/2023-04-20-Moderna-and-IBM-to-Explore-Quantum-Computing-and-Generative-AI-for-mRNA-Science>. Accessed Nov 11, 2024.
34. Fedorov AK, Akimov AV, Biamonte JD, et al. Quantum technologies in Russia. *Quantum Science and Technology*. 2019; 4(4). doi: 10.1088/2058-9565/ab4472.
35. Park J, Shin B. Conceptualizing digital sanctions as a new type of economic sanctions in the digital era: Digital-related sanctions measures against Russia and their consequences. *Journal of Eurasian Studies*. 2023. doi: 10.1177/18793665231217303.