

О.С. Кобякова¹, В.И. Стародубов¹,
Н.Г. Куракова², Л.А. Цветкова²



¹ Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации,
Москва, Российская Федерация

² Российская академия народного хозяйства и госслужбы при Президенте РФ,
Москва, Российская Федерация

Цифровые двойники в здравоохранении: оценка технологических и практических перспектив

Обоснование. Технологическое направление «цифровые двойники» (Digital Twins) входит в перечень главных стратегических технологических трендов 2019–2021 гг. В конце 2021 г. в Российской Федерации анонсирована инициатива, направленная на создание цифрового двойника в отечественной системе здравоохранения в рамках проекта по модернизации первичного звена. **Цель исследования** — обзор возможных способов применения технологии цифровых двойников в глобальной системе здравоохранения и в ее российском сегменте, а также построение патентного и публикационного ландшафтов для идентификации технологических и академических лидеров направления. **Методы.** Научометрический и патентный анализ. **Результаты.** Прослежены ключевые этапы развития тренда «цифровые двойники в здравоохранении». Согласно данным выполненного наукометрического и патентного анализа по приоритетному направлению «цифровые двойники в здравоохранении и медицине», Российская Федерация на конец 2021 г. занимает 35-е место в мире по удельному весу в общем числе статей в изданиях, индексируемых в WoS, и 20-е — в общем числе патентных заявок на изобретение, т.е. не входит в число 10 лидирующих стран. Цитируемость отечественных публикаций в интернационализированном сегменте существенно ниже среднего (нормированного) показателя, что не дает основания говорить о достижении отечественными центрами компетенций исследовательского превосходства и даже мирового уровня. **Заключение.** В качестве ключевых событий развития тренда в Российской Федерации следует отметить создание консорциума «Цифровое здравоохранение» в 2018 г., Научного центра мирового уровня «Цифровой биодизайн и персонализированное здравоохранение» в 2020 г. и инициативу Минздрава России в 2021 г. Представляется важным отметить, что главными мировыми акторами трансформации направления «цифровые двойники» в высокотехнологичное оборудование и услуги являются не научно-исследовательские центры, а компании, выступающие одновременно в роли квалифицированных заказчиков и бенефициаров реализуемых проектов полного инновационного цикла. Располагая огромными бюджетами на НИОКР и имея четкое целеполагание, именно эти участники процесса становятся главными драйверами технологического развития сектора здравоохранения, связанного с внедрением цифровых двойников. В связи с этим не вызывает беспокойства низкая активность российских компаний в закреплении полученных результатов патентами, что создает риски использования инновационных решений, созданных в отечественном секторе междисциплинарных исследований, в интересах зарубежных корпораций, идентифицированных в настоящем обзоре в качестве технологических лидеров.

Ключевые слова: цифровые двойники, концепция использования, здравоохранение, медицина, технологические лидеры, платформы, патентный ландшафт, публикационный ландшафт

Для цитирования: Кобякова О.С., Стародубов В.И., Куракова Н.Г., Цветкова Л.А. Цифровые двойники в здравоохранении: оценка технологических и практических перспектив. *Вестник РАМН.* 2021;76(5):476–487. doi: <https://doi.org/10.15690/vramn1717>

Обоснование

Выполняя Указ Президента РФ от 09.05.2017 № 203 «Стратегия развития информационного общества в РФ на 2017–2030 гг.» [1], Правительство РФ инициировало разработку программ, направленных на цифровизацию различных отраслей экономики. Для ускорения цифровизации здравоохранения в 2018 г. был учрежден национальный консорциум «Цифровое здравоохранение», одной из целей которого заявлена разработка цифрового двойника человека и соответствующих стандартов для его построения [2]. В 2020 г. в рамках реализации нацпроекта «Наука» создан Научный центр мирового уровня (НЦМУ) «Цифровой биодизайн и персонализированное здравоохранение» [3]. В августе 2021 г. Минздрав России анонсировал инициативу, направленную на создание цифрового двойника в отечественной системе здравоохранения в рамках проекта по модернизации первичного звена. Вторая часть инициативы ведомства касается всей инфраструктуры здравоохранения и предлагает изменение формата общения медицинской организации с пациентом благодаря внесению всех данных о нем в единый цифровой ресурс [4].

Согласно расчетам PricewaterhouseCoopers, внедрение сервисов цифровых двойников в отечественном сегменте стационарной медицинской помощи позволит сэкономить до 2025 г. порядка 536 млрд руб., в частности: экономия на лечении хронических больных составит 160 млрд, перераспределение нагрузки медперсонала — 148 млрд, а оптимизация запасов медикаментов и оборудования — 228 млрд [5].

Аналитики компании Gartner включили технологическое направление «цифровые двойники» (Digital Twins) в перечень главных стратегических технологических трендов 2019 г., способных сформировать динамично растущие рынки [6]. В отчете «Цикл шумихи для поставщиков медицинских услуг, 2020» Gartner особо выделила тему «Цифровые двойники в здравоохранении», отметив взрывной интерес к технологии именно в этой отрасли [7]. По данным маркетингового исследования Digital Twin Market — Forecast to 2023, рынок цифровых двойников растет со среднегодовыми темпами 37,87% и к 2023 г. достигнет 15,66 млрд долл. США [8].

В Евросоюзе исследования, связанные с использованием технологии цифровых двойников в здравоохранении, были инициированы в ходе реализации 7-й Рамочной

программы Европейского союза по исследованиям и разработкам (2007–2013 гг.). Проект DISCIPULUS имел целью создание дорожной карты цифрового пациента как его виртуальной версии, названного руководителем проекта Ванессой Диаз «медицинским аватаром». Цифровую модель пациента следовало использовать для моделирования различных медицинских процедур с целью подбора оптимальных методов лечения реального человека. Конечный результат проекта представлялся следующим образом: после госпитализации пациента создается его виртуальный «близнец» (аватар), на котором проводится тестирование и моделирование различных типов лечения. После выздоровления пациент покидает госпиталь с набором носимых устройств контроля параметров здоровья либо других аналогичных устройств на базе медицинских сенсоров, используемых для мониторинга метрик в домашних условиях. При этом цифровой двойник пациента постоянно «обновляется», отображая процесс восстановления больного. Партнерами проекта DISCIPULUS выступили Университетский колледж Лондона (Великобритания), Университет Шеффилда (Великобритания), Ортопедический институт Риццоли (Италия) и Университет Помпеу Фабра (Испания). В отчете о результатах проекта была отмечена необходимость дополнительных комплексных и междисциплинарных прикладных исследований в области биомедицины, математики, биоинженерии и компьютерных наук, интеграции больших медицинских данных о пациентах, увеличения вычислительных мощностей для масштабного моделирования, а также значительных финансовых и временных ресурсов [9].

Цель настоящего исследования — обзор возможных способов применения цифровых двойников в глобальной

системе здравоохранения и в ее российском сегменте, а также построение патентного и публикационного ландшафтов для идентификации технологических и академических лидеров направления.

Концепция цифрового двойника в здравоохранении

Концепция цифрового двойника, которая первоначально называлась моделью зеркальных пространств, была предложена профессором Мичиганского университета Майклом Гривсом (Michael Grieves) еще в 2002 г. [10]. Ему же принадлежит и первое определение: цифровой двойник «содержит три основные части: физический продукт в реальном пространстве, виртуальный продукт в виртуальном пространстве и данные и информацию, которые объединяют виртуальный и физический продукт» [11]. Таким образом, цифровой двойник можно определить как компьютерный прообраз объекта реального мира, представляющий собой продукт виртуальной реальности, который благодаря накопленной информации и установленным алгоритмам может составлять прогнозы поведения своей физической копии, бизнес-процессов в режиме реального времени, а также корректировать и исправлять потенциальные сбои и погрешности [12]. Цифровые двойники нуждаются в постоянном вводе данных, касающихся представленной структуры или поведения оригинала, после чего могут обеспечить моделирование в режиме реального времени и обратную связь [13]. В здравоохранении двойники действуют как цифровая копия физического объекта или услуги, обеспечивая ее

477

O.S. Kobyakova¹, V.I. Starodubov¹, N.G. Kurakova², L.A. Tsvetkova²

¹ Federal Research Institute for Health Organization and Informatics, Moscow, Russian Federation

² The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russian Federation

Digital Twins in Healthcare: an Assessment of Technological and Practical Prospects

Background. The technological direction digital Twins is included in the list of the main strategic technological trends of 2019–2021. At the end of 2021, an initiative was announced in the Russian Federation aimed at creating a digital twin in the domestic healthcare system as part of the primary care modernization project. **Aims** — the purpose of the study is to review possible ways of using digital twins technology in the global healthcare system and in its Russian segment, as well as to build patent and publication landscapes to identify technological and academic leaders of the frontier. **Methods.** Scientometric and patent analysis. **Results.** The key stages of the development of the frontier “digital twins in healthcare” are traced. According to the data of the scientometric and patent analyses carried out in the priority direction “digital twins in healthcare and medicine”, the Russian Federation at the end of 2021 ranks 35th in the world in terms of specific weight in the total number of articles in publications indexed in WoS, and 20th in the world in terms of specific weight in the total number of patent applications for an invention, i.e. it is not among the 10 leading countries. The citation of domestic publications in the internationalized segment is significantly lower than the average (normalized) indicator, which does not give grounds to talk about the achievement of research excellence and even world-class domestic competence centers. **Conclusion.** The creation of the Digital Healthcare Consortium in 2018, the world-class Scientific Center “Digital Biodesign and Personalized Healthcare” in 2020 and the initiative of the regulator (Ministry of Health of Russia) in 2021 should be noted as key events in the development of the frontier in the Russian Federation. At the same time, it is important to note that the main global actors in the transformation of the digital twins frontier into high-tech equipment and services are not research centers, but companies acting simultaneously as qualified customers and beneficiaries of ongoing projects of a full innovation cycle. Having huge R&D budgets and having a clear goal setting, it is these participants in the process that become the main drivers of the technological development of the healthcare sector associated with the introduction of digital twins. In this regard, the absence of the direction of Russian companies on the patent landscape cannot but cause concern, which creates risks of using innovative solutions created in the domestic sector of interdisciplinary research in the interests of foreign corporations identified as technology leaders in this review.

Keywords: digital twins, concept of use, healthcare, medicine, technology leaders, platforms, patent landscape, publication landscape

For citation: Kobyakova OS, Starodubov VI, Kurakova NG, Tsvetkova LA. Digital Twins in Healthcare: an Assessment of Technological and Practical Prospects. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences.* 2021;76(5):476–487. (In Russ). doi: <https://doi.org/10.15690/vramn1717>

мониторинг и оценку. Новое событие — возможность использования цифровых двойников для получения более или менее репрезентативного воспроизведения органов.

В здравоохранении термин «цифровой двойник» не является до настоящего времени строгим и устойчивым. В отсутствие методологии дифференциации понятий наряду с «цифровым двойником» используются «цифровой профиль пациента», «виртуальная модель пациента (органа)», «аватар пациента» и др. Если понимать термин как зонтичный для различных подходов и толкований, то цифровые двойники рассматриваются в качестве технологической основы для новых практик анализа данных о пациенте, моделирования и прогнозирования последствий широкого круга медицинских манипуляций [13]. Как утверждает К. Bruynseels et al. [14], такие подходы к цифровым двойникам в медицине следуют инженерной парадигме, где отдельные физические артефакты сочетаются с цифровыми моделями, которые динамически отражают статус этих артефактов. Для того чтобы создать такие виртуальные модели человеческих органов или даже целого организма, необходима очень подробная биофизическая информация о человеке, обрабатываемая в течение длительного времени. Это может быть особенно актуально в случаях, когда цифровые двойники рассматриваются в качестве технологической основы развития персонализированной медицины. Сферы применения цифровых двойников быстро расширяются благодаря достижениям в области передачи данных в реальном времени, машинного обучения, технологий виртуальной и дополненной реальности.

По мнению экспертов, именно в системе здравоохранения цифровые двойники смогут полностью раскрыть свой потенциал [15–17] в контуре трех магистральных направлений, таких как: 1) развитие персонализированной медицины; 2) разработка и внедрение новых лекарственных препаратов и медицинских устройств; 3) координация всех бизнес-процессов медицинской организации (оптимизация загрузки коечного фонда, построение логистических цепочек, организация экосистемных партнерств и пр.).

Опрос 399 руководителей здравоохранения из 6 стран мира, проведенный консалтинговой компанией Accenture в 2021 г., показал, что 87% респондентов признают необходимость цифровых двойников для организации сетевого взаимодействия в стратегических экосистемных партнерствах, а 66% ожидают, что инвестиции возглавляемых ими организаций в разработку цифровых двойников многократно возрастут в течение следующих трех лет [18].

Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (Food and Drug Administration, FDA) США в 2018 г. запустило программу по внедрению различных типов цифровых подходов для тестирования и мониторинга новых медицинских устройств и лекарств [19]. Кроме того, ведомство создает нормативную базу, позволяющую компаниям сертифицировать и продавать программное обеспечение как медицинское устройство [20]. Основная идея состоит в том, чтобы создать цифрового двойника для конкретного пациента из различных источников данных, включая лабораторные тесты, ультразвуковые обследования, данные устройств визуализации и генетических тестов. Также цифровые двойники могут оптимизировать программное обеспечение в кардиостимуляторах, автоматизированных инсулиновых помпах и новых приборах для исследований мозга [21].

Фармацевтические компании используют цифровых двойников для изучения побочных действий различных лекарственных средств, что может повысить безопасность отдельных лекарств и их комбинаций. К настоящему времени созданы базовые модели для 23 препаратов, расширение их перечня поможет сэкономить до 2,5 млрд долл., необходимых для разработки, тестирования, утверждения и запуска в производство новых лекарственных средств [22].

Некоторые исследователи сравнивают текущий статус технологии цифровых двойников с проектом расшифровки генома человека (Human Genome Project, HGP). По их мнению, потенциал развития тренда заслуживает формата согласованных международных исследовательских усилий в масштабе, сопоставимом с HGP [23].

Технологические лидеры направления «цифровые двойники в здравоохранении»

Обоснованность аналогии развития технологии цифровых двойников с историей расшифровки генома поддерживается, с нашей точки зрения, в первую очередь тем обстоятельством, что в качестве главных драйверов, акторов и бенефициаров обоих технологических направлений выступили компании, оценившие рыночные перспективы нового технологического направления. Напомним, что реализация международного проекта «Геном человека» с бюджетом 3 млрд долл. началась в 1990 г., завершить проект предполагалось через 15 лет, т.е. примерно к 2005 г. [24]. Однако частная американская компания Celera менее чем за два года (1999–2000 гг.) достигла и превзошла результаты международного проекта, потратив на достижение его целей и задач всего 300 млн долл. частных инвестиций [25].

Аналогично в настоящее время драйверами в области разработки цифровых двойников в здравоохранении стали такие крупные компании, как IBM, Microsoft Corporation, General Electric, Oracle Corporation, PTC Inc., ANSYS Inc. [26]. Корпорация Google с использованием технологий искусственного интеллекта активно разрабатывает алгоритмы, способные анализировать медицинские изображения для диагностики заболеваний и анализировать цифровые записи для предсказания вероятности смерти. ИТ-гигант Alibaba начал использовать свою облачную и информационную инфраструктуру для решения задач диагностики широкого круга заболеваний, применяя технологии искусственного интеллекта (ИИ) для анализа изображений, полученных в ходе компьютерной (КТ) и магнитно-резонансной (МРТ) томографии [27]. Atlas Construction разработала платформу цифровых двойников с целью ускорения строительства медицинских учреждений. Сервис, созданный на базе платформы Oracle Cloud и приложения для управления жизненным циклом активов Primavera Unifier, помогает организовать и оптимизировать процессы проектирования, закупок и строительства [28].

Диверсификация бизнес-стратегий корпораций Google, Alibaba, Oracle, Microsoft, предполагающая использование накопленных больших данных для захвата рынка медицинского программного обеспечения, создала невиданную прежде конкуренцию между новыми и прежними ключевыми игроками рынка высокотехнологичного медицинского оборудования, такими как Siemens Healthineers, Philips и GE Healthcare, пытающимися сохранить преимущество над ИТ-гигантами [27].

Руководство Siemens Healthineers поставило амбициозную задачу превратиться в «GPS-здравоохранение» [27]. Компания в сотрудничестве с учеными Гейдельбергской кардиологической клиники при Университетском госпитале Гейдельберга (Германия) развернула масштабные исследования, имеющие цели создания цифрового двойника сердца для повышения эффективности медикаментозного лечения и моделирования сердечных катетерных вмешательств [29]. Для решения этой задачи Siemens Healthineers собрала базу данных из более 250 млн аннотированных МРТ-изображений и ЭКГ-измерений, отчетов и историй болезней, на основе которых команда университетской клиники создала 100 цифровых двойников сердец пациентов, лечившихся от сердечной недостаточности в течение шестилетнего проекта [27]. Использование цифровой модели сердца позволило минимизировать время постановки окончательного диагноза и подбора терапевтических схем. После достигнутого успеха в создании цифрового двойника сердца компания перешла к разработке цифровых двойников других органов, в том числе мозга [30].

Совместно с Университетом Южной Каролины Siemens Healthineers реализует проект, направленный на анализ процессов управления госпиталем, одной из целей которого является сокращение времени на лечение пациентов с инсультом [31]. Одновременно Siemens Healthineers работает с несколькими производителями вакцин, предлагая услуги по проектированию и тестированию различных конфигураций производственных линий. Цифровые двойники позволили компании спроектировать микрофлюидные производственные линии, масштабировать процессы и ускорить запуск промышленного производства с 1 года до 5 мес [32].

Цифровые модели, разработанные GE Healthcare Camden Group, помогают планировать койки, графики работы персонала и операционных, чтобы добиваться повышения качества медицинской помощи при минимизации расходов. Виртуализация управления больниц упрощает тестирование различных организационных решений и моделей оказания медицинской помощи с точки зрения ожидаемого экономического эффекта. Например, компания разработала модули для оценки влияния конфигурации коек на уровень ухода, оптимизации хирургических графиков, что позволяет менеджерам тестировать различные управленческие новации без необходимости запуска пилота. Десятки медицинских организаций уже используют эту платформу [26, 33].

Компания Philips сообщила о создании виртуального сердца, для решения этой задачи разработана специальная программа Philip HeartModel. Программа способна автоматически формировать 3D-модель камер сердца пациента на основании объединения множественных 2D-изображений, а также рассчитывать показатель объема перекачанной сердцем крови как важнейшего параметра оценки сердечной функции. Унифицированная модель получена на основе данных нескольких тысяч ультразвуковых исследований сердец различных форм и размеров и способна адаптироваться под уникальные ультразвуковые изображения сердца каждого пациента, что позволяет сформировать персонализированную модель органа [34]. Подобно Siemens Healthineers, компания Philips анонсирует создание цифрового двойника сердца, позволяющего точно прогнозировать эффективность назначаемой пациенту терапии на основании его персональных медицинских данных. Кроме того, Philips запустила программу профилактического обслуживания

медицинского оборудования, которая собирает данные с 15 тыс. медицинских устройств визуализации. Компания надеется, что цифровые двойники могут улучшить время безотказной работы и помочь инженерам настроить новое оборудование под нужды разных клиентов [35].

Однако не только крупные транснациональные компании, но и значительное количество стартапов предлагают сегодня решения цифровых двойников для здравоохранения. Например, европейский стартап FEops уже получил одобрение регулирующих органов и коммерциализировал платформу FEops Heartguide, которая сочетает в себе персональную для пациента цифровую модель сердца (с его анатомическим анализом) с возможностью выбора ИИ наиболее эффективных вариантов лечения структурных заболеваний органа [36].

В 2014 г. французская компания Dassault Systèmes запустила проект «Живое сердце» (Living Heart) для краудсорсинга виртуального двойника сердца человека. Проект развивался в формате международного сотрудничества с открытым исходным кодом для всех заинтересованных участников и объединил более 95 организаций по всему миру, включая исследователей, практикующих врачей, производителей устройств и регулирующие органы, объединенных миссией открытых инноваций для решения проблем здравоохранения [37]. Бостонская больница работает с цифровым двойником сердца компании Dassault Systèmes, чтобы улучшить планирование хирургических процедур и оценить их результаты. Цифровые двойники помогают генерировать форму манжеты между сердцем и артериями [38]. Проект «Живое сердце» в 2014 г. подписал соглашение о совместных исследованиях с FDA. Это был первый проект, в котором использовалась технология цифровых двойников, специально предназначенная для наблюдения за взаимодействием органа с лекарственными препаратами, что приведет к сокращению испытаний лекарственных средств на животных [37]. Еще один проект компании — «Живой мозг» — изучает методы лечения эпилепсии и позволяет отслеживать прогрессирование нейродегенеративных заболеваний реального мозга на его модели. Dassault Systèmes инициировала аналогичные проекты для разработки цифровых двойников легких, колен, глаз и других органов и систем [39].

Разработка инновационных лекарственных препаратов требует тестирования тысяч или миллионов молекул в контролируемой среде. Цифровой двойник лаборатории может автоматизировать процессы испытаний и повысить воспроизводимость результатов лабораторных экспериментов. Стартап Artificial привлек венечное финансирование в размере 21,5 млн долл. от Microsoft и других инвесторов на разработку программного обеспечения для автоматизации лабораторий. Объем рынка таких решений оценивается в 10 млрд долл. [28].

Цифровой двойник Sim&Size французской компании Sim&Cure использует компьютерное моделирование *in silico* для визуализации размещения эндоваскулярных устройств, предназначенных для лечения внутричерепных аневризм. Применение оцифрованного изображения пациента, полученного с помощью трехмерной ротационной ангиографии, дает возможность врачу протестировать свои предоперационные стратегии, выбрав оптимальный вариант операционного вмешательства. Цифровые двойники могут выполнять моделирование менее инвазивных операций с использованием катетеров для установки уникальных имплантатов. Данные пациентов помогают настраивать симуляции, которые выполняются на встроенном пакете моделирования от Ansys [40].

Стартап Q Bio представил платформу цифрового двойника — Q Bio Gemini, которая автоматически отражает состояние человека на модели его цифрового двойника, выделяя наиболее важные изменения в его физиологии во всеобъемлющем резюме, которое может быть безопасно передано врачам и специалистам по всему миру. Это первая разработка, проецирующая всестороннее базовое состояние здоровья пациентов в масштабируемую виртуальную модель. Платформа сканирует все тело пациента за 15 мин без облучения или задержки дыхания, используя передовые вычислительные алгоритмы, которые для постановки диагнозов позволяют достигать более высокой точности, чем МРТ. Компания привлекла более 80 млн долл. инвестиций от Andreessen Horowitz, Kaiser Foundation Hospitals для расширения доступа к собственной платформе и передовым технологиям сканирования тел пациентов, которые обеспечивают управляемую данными, превентивную и более доступную профилактическую медицинскую помощь [41].

Приложение Healthcheck стартапа Babylon Health интегрирует медицинские данные пациента в его цифровом двойнике, которые впоследствии обрабатываются с использованием технологий ИИ. Приложение работает как с введенными вручную данными, такими как история болезни, отслеживание настроения пациента и симптомов, так и с автоматически поступающими данными фитнес- и носимых устройств, таких как Apple Watch. Цифровой двойник может предоставить базовую оперативную информацию или определить приоритеты и взаимодействие пациента с врачами [28].

Результаты

Патентный ландшафт, созданный технологиями цифровых двойников в медицине и здравоохранении

С целью уточнения конкурентного ландшафта, созданного технологией цифровых двойников в медицине

и здравоохранении, выполнен патентный анализ с использованием базы данных «ORBIT QUESTEL» и поискового образа (((digital twin+) or (Virtual twin+) or (digital D patient+) or (Virtual D Patient+) or avatar+ or (twin+ model)) F (medic+ or +health+ or surg+ or transplant+ or clinic+ or hospital+ or heart+ or lung+ or knee+ or (patient data) or (patient record+) or human+ or doctor+ or pharmac+ or treatment or therap+ or oncolog+ or immune+ or drug+ or disease+ or cardio+or nursing))/TI/AB/CLMS AND APD >= 2001

Обнаружено 2892 патентных документа, связанных с направлением «Цифровой двойник в медицине и здравоохранении», из которых 1152 приходится на уже выданные патенты (и патентные семьи), а 949 — на патентные заявки на изобретение. На рис. 1 отражена динамика патентования в исследуемой области техники, которая демонстрирует экспоненциальный рост начиная с 2017 г. Количество ежегодно подаваемых патентных заявок увеличилось в 10 раз (с 27 в 2017 г. до 276 в 2020-м). Отмеченный тренд сохраняется и в 2021 г.: количество патентных заявок на конец сентября 2021 г. уже достигло 299.

Обладателем самого объемного патентного портфеля, связанного с направлением «Цифровой двойник в медицине и здравоохранении», является компания IBM (40 патентных документов), немного уступают ей Microsoft Technology Licensing (36 патентных семейств) и Samsung Electronics (30 патентных семейств) (рис. 2).

В табл. 1 представлен топ-30 патентообладателей мира по направлению «Цифровой двойник в медицине и здравоохранении», в число которых включено всего четыре университета Китая. Ни одна российская компания или университет не вошли в перечень обладателей заметных коллекций патентов в этой области.

Наиболее широко исследования, направленные на создание цифровых двойников в здравоохранении, развернуты в Китае: в национальный патентный портфель этой страны вошло уже 970 патентных до-

Число патентных документов

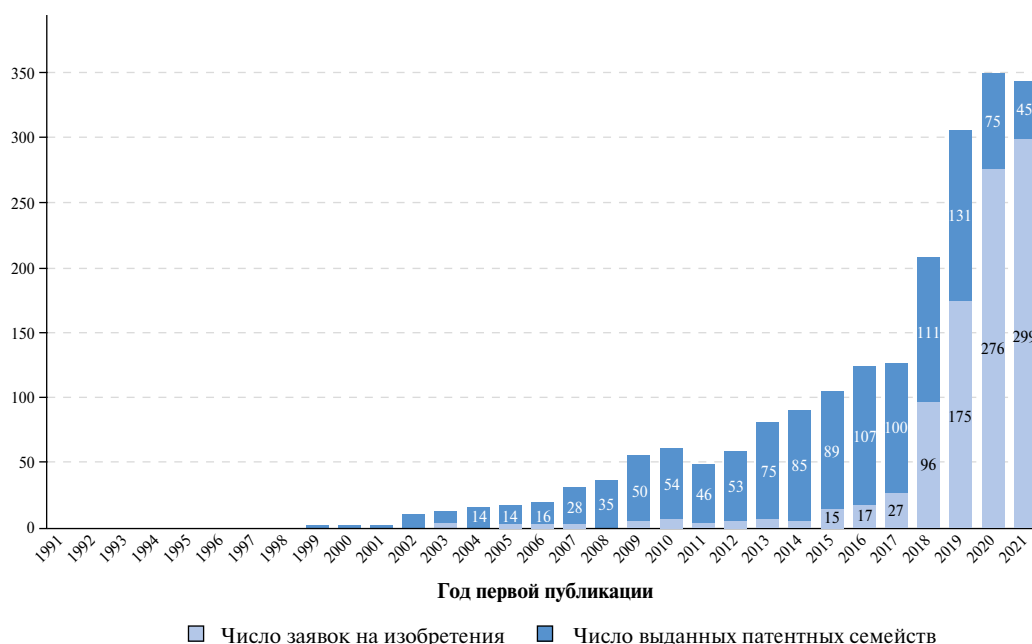


Рис. 1. Динамика патентной активности в мире по направлению «Цифровой двойник в медицине и здравоохранении» (по дате публикации).

Источник: БД ORBIT QUESTEL (данные актуальны на 21.09.2021).

Таблица 1. Топ-30 патентообладателей мира по направлению «Цифровой двойник в медицине и здравоохранении», 2000–2019 гг.

Правообладатель	Количество патентных семейств	Страна приоритета
IBM	40	США
Microsoft Technology Licensing	36	США
Samsung Electronics	30	Южная Корея
Tencent Technology Shenzhen	27	Китай
General Electric	24	США
Beijing Guangnian Wuxian Science & Technology	21	Китай
Philips	18	Нидерланды
Siemens Healthcare	16	Германия
Apple	15	США
Invention Science Fund I	15	США
Siemens	11	Германия
Intuit	11	США
Magic Leap	11	США
LG Electronics	10	США
Beihang University of Aeronautics & Astronautics	9	Китай
Huawei	9	Китай
Intel	9	США
Sony Interactive Entertainment	9	Япония
Beijing Baidu Netcom Science & Technology	8	Китай
Tongji University	8	Китай
Pingan Technology	7	Китай
Suzhou minxing Medical Information Technology	7	Китай
Verb Surgical	7	США
Canon Medical Systems	7	Япония
Sony	7	Япония
China University of Mining & Technology	6	Китай
Guangdong Oppo Mobile Telecommunications	6	Китай
Guangzhou Huya Technology	6	Китай
Xi'an Jiaotong University	6	Китай
Zhejiang University	6	Китай

481

Источник: БД ORBIT QUESTEL (данные актуальны на 21.09.2021).

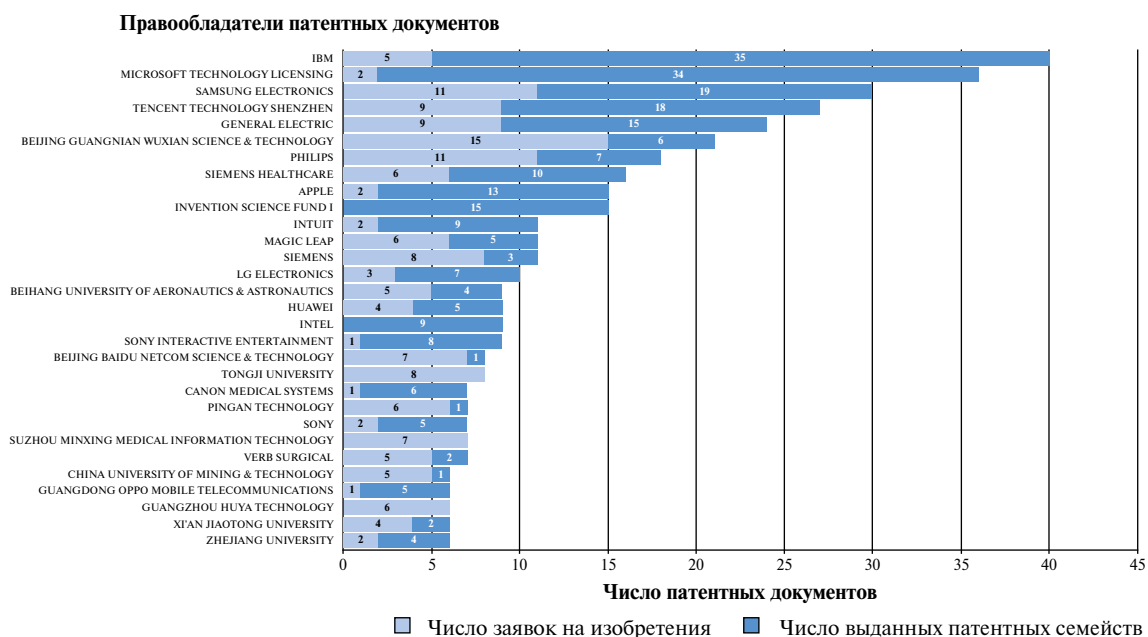


Рис. 2. Топ-30 ключевых игроков на мировом патентном ландшафте по направлению «Цифровой двойник в медицине и здравоохранении» (по дате публикации).

Источник: БД ORBIT QUESTEL (данные актуальны на 21.09.2021).

кументов. США немного уступают Китаю по числу патентов с национальным приоритетом (888) (рис. 3). Отрыв этих двух стран от всех остальных претендентов на технологическое лидерство характерен практически для любого нового тренда, появляющегося в последние 20 лет, и технологии цифровых двойников не стали исключением.

Данные, представленные на рис. 4, выступают иллюстрацией ограниченности временных ресурсов, которыми располагают страны, претендующие на новые рынки,

создаваемые алгоритмами цифровых двойников в контуре глобального здравоохранения. Охранные документы, выданные резидентам стран, захватывающих технологическое лидерство, закрывают не только отдельные технические решения в этой области, но и рыночные ниши, формируемые новыми технологиями.

Наиболее быстрорастущие тематические кластеры патентных документов, связанных с разработкой цифровых двойников для здравоохранения, а также терминологический ландшафт направления отражены на рис. 5.

Число патентных документов

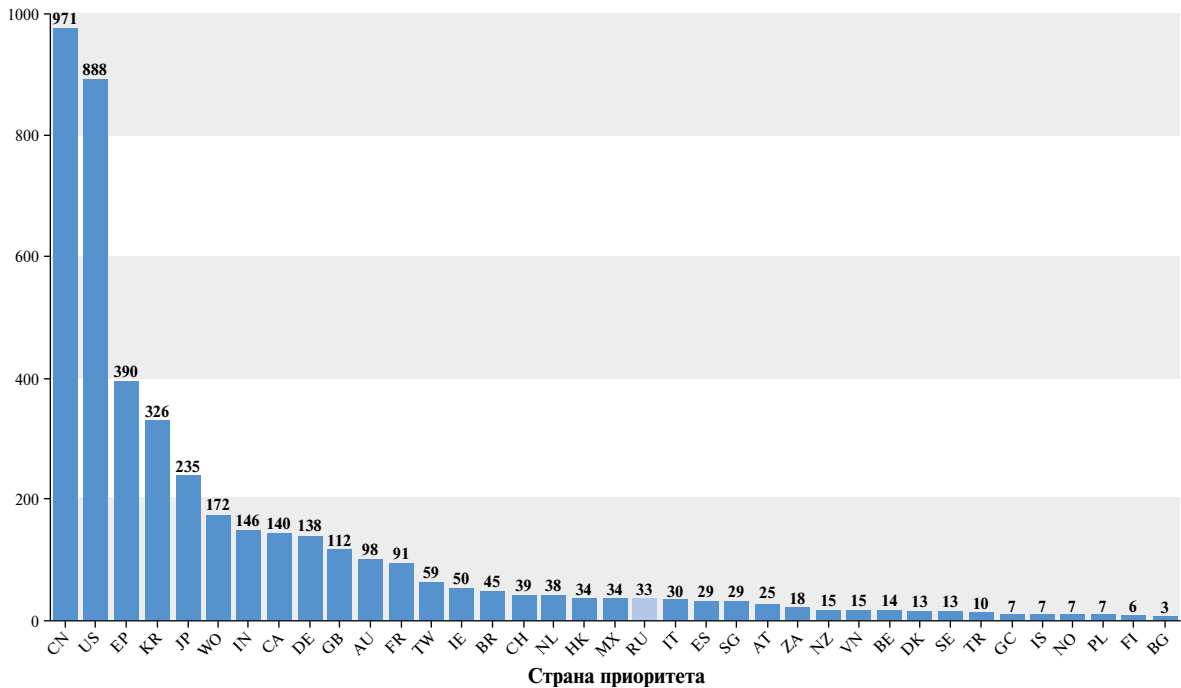


Рис. 3. Распределение патентов направления «Цифровой двойник в медицине и здравоохранении» по странам приоритета. Источник: БД ORBIT QUESTEL (данные актуальны на 21.09.2021).

Страна публикации

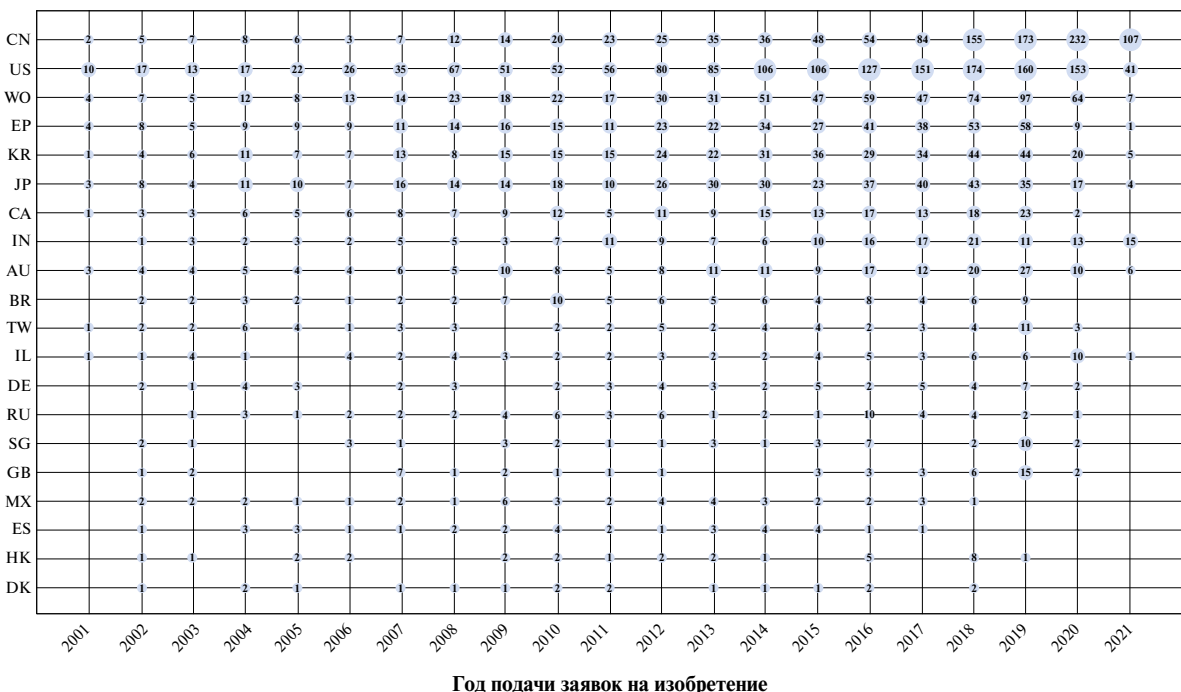


Рис. 4. Динамика патентования в странах приоритета по направлению «Цифровой двойник в медицине и здравоохранении». Источник: БД ORBIT QUESTEL (данные актуальны на 21.09.2021).

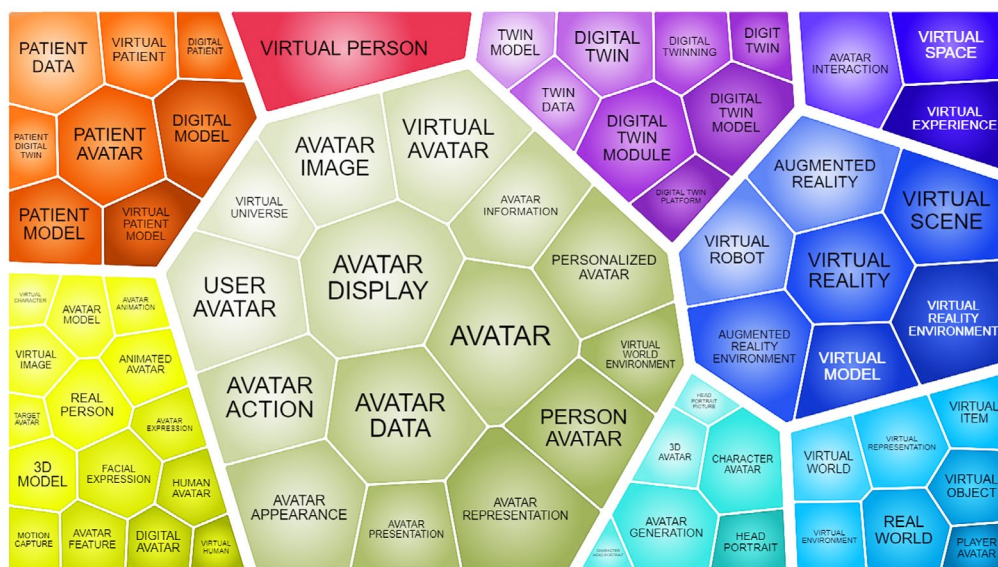


Рис. 5. Топ-50 концептуальных кластеров патентных документов, связанных с разработкой цифровых двойников для здравоохранения
 Источник: БД ORBIT QUESTEL (данные актуальны на 21.09.2021).

Публикационный ландшафт, созданный технологиями цифровых двойников в медицине и здравоохранении

Согласно данным выполняемого нами многолетнего мониторинга развития глобальной медицинской науки, в последние 15–20 лет все чаще появляются новые научные направления, локомотивом развития которых становится именно предпринимательский, а не академический сектор. К таким областям медицинской науки, с нашей точки зрения, следует отнести полногеномное секвенирование, тканевую инженерию, репрограммирование плюрипотентных стволовых клеток, технологии редактирования генома, а теперь и технологии цифровых двойников.

Выполненный наукометрический анализ за 2001–2021 гг. позволяет отметить факт сопоставимости публикационной и патентной активности (даже с некоторым преобладанием последней) в рамках данного направления, что характерно для трансформирующих направлений междисциплинарных исследований, обладающих

огромным коммерческим потенциалом. С использованием Web of Science Core Collection (WoS CC) и поискового образа удалось обнаружить 2413 релевантных публикаций. Для сформированной выборки характерны высокие показатели цитируемости: среднее число ссылок на документ составляет 11,5; индекс Хирша направления — 63; к высокоцитируемому сегменту (highly cited papers) относится 16 публикаций (рис. 6).

Динамика числа и цитируемости публикаций по направлению «Цифровые двойники в медицине и здравоохранении», представленная на рис. 6, позволяет отнести данное направление к одному из самых четко выраженных трендов медицинской науки по состоянию на конец 2021 г.: экспоненциальный рост публикационной активности начался в 2017 г. и сохраняется до сегодняшнего дня.

К числу стран, резиденты которых сформировали к 2021 г. самые объемные портфели публикаций, относятся США (35% проиндексированных в WoS CC документов), Великобритания и Германия (по 11%). Россия

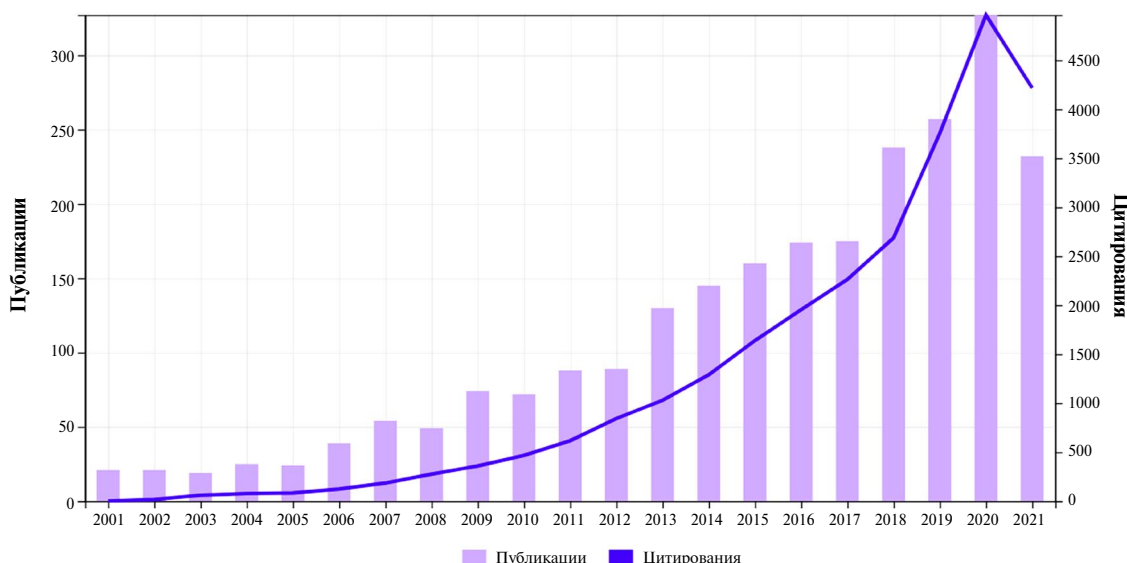


Рис. 6. Динамика числа и цитируемости публикаций по направлению «Цифровые двойники в медицине и здравоохранении», 2001–2021 гг.
 Источник: Web of Science™ Clarivate (данные актуальны на 22.09.2021).

занимает скромную 35-ю позицию с 12 публикациями резидентов (табл. 2). Обращает на себя внимание и тот факт, что Китай, уверенно лидирующий по объему национального портфеля патентов, по числу публикаций резидентов занимает несвойственное своему статусу технологического лидера мира 12-е место, что скорее всего обусловлено стратегией страны по олигополизации создаваемых рыночных ниш, не предполагающей раскрытие коммерчески значимых решений и алгоритмов.

Перечень организаций, подготовивших к 2021 г. наибольшее количество публикаций по цифровым двойникам в медицине и здравоохранении, с нашей точки зрения, выглядит нетрадиционно для трендов медицинских наук, оформившихся в последнее десятилетие: лидирующие позиции занимают не только американские университеты Лиги плюща (у Гарвардского университета — 5-е место в рейтинге, у Стэнфордского — 15-е), а университет Лондона (1-е место, 72 публикации), Каролинский институт (Швеция) (3-е место, 55 публикаций), что косвенным образом указывает на значимость не столько академической школы, сколько способности университета быстро организовать междисциплинарное исследование. Сформулированное нами предположение поддерживается и фактом появления новой формулировки аффилиации, которая указывается в публикациях, посвященных созданию цифровых двойников для здравоохранения. Речь идет об указании на университетские экосистемы (т.е. на консорциумы университетов штатов США), такие как University of California System, State University System of Florida, Pennsylvania Commonwealth System of Higher Education (PCSHE), University of Texas System (табл. 3).

Статьи отечественных авторов пока мало заметны среди публикаций по направлению «Цифровые двойники в медицине и здравоохранении». Удалось обнаружить всего 12 публикаций с аффилиацией российских организаций, проиндексированных в WoS CC за 2001–2021 гг., ни одна из которых не относится к высокоцитируемому сегменту. Среднее число цитирований отечественных публикаций составляет всего 0,5 при нормированном показателе 11,5; а индекс Хирша данного кластера публикаций — 1 при нормированном показателе 63 (табл. 4).

Несмотря на скромное отражение российских исследований по использованию технологии цифровых двойников в медицине и здравоохранении в интернационализированном публикационном пространстве, можно говорить о довольно динамичном развитии этого направления в отдельных отечественных центрах компетенций.

Как уже отмечалось, в Первом медицинском университете им. И.М. Сеченова создан научный центр «Цифровой биодизайн и персонализированное здравоохранение», одна из задач которого связана с разработкой прототипа цифрового двойника для ранней диагностики и прогнозирования развития онкологических и кардиологических заболеваний: рака легких и почек и колоректального рака, гипертонической и ишемической болезни сердца. Специалисты Центра разработали подходы к созданию прототипов моделей цифровых двойников, основанных на принципах персонализированного моделирования заболевания. В НЦМУ ведется активная работа по созданию системы биостатистической платформы для доклинических исследований в области кардиологии и онкологии [42].

В Центре «Компьютерный инжиниринг и цифровое производство» Самарского политехнического института в 2018 г. разработан цифровой двойник сердечно-сосудистой системы. Подходы и принципы моделирования

Таблица 2. Рейтинг стран по объемам портфеля публикаций по направлению «Цифровые двойники в медицине и здравоохранении», 2001–2021 гг.

Страна	Число публикаций, проиндексированных в WoS CC
США	855
Великобритания	266
Германия	258
Канада	164
Италия	132
Франция	129
Австралия	111
Нидерланды	110
Швейцария	96
Испания	91
Швеция	77
Китай	67
Бельгия	58
Япония	53
Польша	42
Южная Корея	42
Австралия	38
Греция	38
Новая Зеландия	33
Индия	27
Португалия	26
Норвегия	25
Шотландия	25
Турция	25
Израиль	24
Бразилия	23
Сингапур	21
Дания	20
Ирландия	19
Финляндия	17
Тайвань	17
Румыния	15
Саудовская Аравия	15
Уэльс	14
Россия	12
Чешская Республика	12
Сербия	12
Таиланд	12
Иран	10
Аргентина	9

Источник: WoS CC (данные актуальны на 22.09.2021).

Таблица 3. Рейтинг топ-25 организаций по публикационной активности по направлению «Цифровые двойники в медицине и здравоохранении», 1 января – 22 сентября 2021 г.

Аффилиация	Число публикаций, проиндексированных в WoS CC
University of London	72
University of California System	60
Karolinska Institutet	55
State University System of Florida	49
Harvard University	44
University College London	39
University of Toronto	37
Centre National De La Recherche Scientifique (CNRS)	36
King's College London	36
Ruprecht Karls University Heidelberg	34
Maastricht University	33
Pennsylvania Commonwealth System of Higher Education (PCSHE)	33
McGill University	31
University of Southern California	31
Stanford University	30
University of Texas System	30
Institut National De La Sante Et De La Recherche Medicale (INSERM)	29
University of Munich	29
University of North Carolina	29
Assistance Publique Hopitaux Paris (APHP)	28
University of Pittsburgh	27
Imperial College London	26
Johns Hopkins University	26
University of Florida	26
Monash University	25

Источник: WoS CC (данные актуальны на 22.09.2021).

процессов гидродинамики, воплощенные в компьютерных 3D-моделях, перенесены на биологические объекты. Созданный цифровой двойник сердца может быть использован для научно обоснованных решений при планировании операций, позволяет интегрироваться с сервисами телемедицины, записывать в электронную медицинскую карту визуальную информацию, прогнозировать физическое состояние пациента без его физического присутствия.

В Зеленоградском инновационно-технологическом центре (ЗИТЦ) при НИУ «МИЭТ» для получения виртуальной модели сердца и клапанов с турбонасосами прямого тока крови с 2012 г. ведутся работы по созданию цифрового двойника сердца и крупных сосудов, персонализированных для каждого пациента. Модели строятся с использованием программного обеспечения ANSYS Fluent. Результаты работ внедрены в Национальном медицинском исследовательском центре сердечно-сосуди-

Таблица 4. Динамика публикационной активности по направлению «Цифровые двойники в медицине и здравоохранении» в России и в мире, 1 января – 22 сентября 2021 г.

Год	Количество публикаций	
	В мире	Резидентов России
2001	21	0
2002	21	0
2003	19	0
2004	25	0
2005	24	0
2006	39	0
2007	54	0
2008	49	0
2009	74	0
2010	72	0
2011	88	1
2012	89	0
2013	130	1
2014	145	0
2015	160	0
2016	174	2
2017	175	0
2018	238	1
2019	257	1
2020	327	3
2021	232	3

Источник: WoS CC (данные актуальны на 22.09.2021).

стой хирургии им. А.Н. Бакулева и НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского [12].

Заключение

Прогноз широкого внедрения цифровых двойников в практику здравоохранения в среднесрочной перспективе не вызывает сомнения. Появление прижизненного цифрового двойника пациента может стать технологическим фундаментом персонализированной и превентивной медицины и ускорить принятие общего стандарта обмена медицинскими данными.

В течение 10-летнего периода (2008–2017 гг.) выполнены масштабные исследовательские проекты по разработке алгоритмов цифровых двойников медицинского назначения, в процесс трансляции их результатов в практическое здравоохранение включились регуляторы, возникло сетевое взаимодействие всех участников и бенефициаров развития тренда (исследовательских центров, госпиталей, компаний, производителей медицинского оборудования и информационных сервисов), определились технологические лидеры и ключевые участники новых рыночных ниш.

По приоритетному направлению «цифровые двойники в здравоохранении и медицине» Российская Федерация на конец 2021 г. занимает 35-е место в мире по удельному весу в общем числе статей в изданиях,

индексируемых в WoS; 20-е — в общем числе заявок на выдачу патента на изобретение. Цитируемость отечественных публикаций в интернационализированном сегменте существенно ниже среднего (нормированного) показателя, что не дает основания говорить о достижении отечественными центрами компетенций исследовательского превосходства и мирового уровня.

Дополнительная информация

Источник финансирования. Исследование выполнено в рамках государственных заданий ФГБУ ЦНИИОИЗ Минздрава России и РАНХиГС при Президенте РФ.

Конфликт интересов. Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

Участие авторов. О.С. Кобякова — постановка цели и задачи исследования, анализ полученных данных и формулировка заключения; В.И. Стародубов — концептуальный дизайн исследования, анализ современной научно-технологической политики; Н.Г. Куракова — разработка поисковых образов направления и методологии построения патентного и публикационного ландшафта; Л.А. Цветкова — наукометрический и патентный анализ. Все авторы внесли значимый вклад в проведение исследования и подготовку рукописи, одобрили окончательную редакцию статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы». Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71570570/>
2. В России создан консорциум «Цифровое здравоохранение». Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Available from: <https://digital.gov.ru/ru/events/37934/>
3. Татьяна Голикова провела заседание Совета по государственной поддержке создания и развития научных центров мирового уровня. Правительство России. 28.08.2020. Available from: <http://government.ru/news/40291/>
4. В РФ намерены создать «цифрового двойника» системы здравоохранения. Interfax.ru, 31.08.2021. Available from: <https://www.interfax.ru/russia/787585>
5. Цифровые двойники в здравоохранении. Zdrav.expert, 2021. Available from: <https://zdrav.expert/index.php>
6. Top 10 Strategic Technology Trends for 2019: Digital Twins. Gartner Research, 13 March 2019. Available from: <https://www.gartner.com/en/documents/3904569/top-10-strategic-technology-trends-for-2019-digital-twin>
7. Craft L, Jones M. Hype Cycle for Healthcare Providers, 2020 // Gartner, 05.08.2020. Available from: <https://www.gartner.com/en/documents/3988462>
8. Digital Twin Market Growing at 37.87% CAGR to 2023 led by Electronics and Electrical/Machine Manufacturing Industry. 06.09.2017. Available from: <https://markets.businessinsider.com/news/stocks/digital-twin-market-growing-at-37-87-cagr-to-2023-led-by-electronics-and-electrical-machine-manufacturing-industry-1002344484>
9. Erol T, Mendi AF, Doğan D. The Digital Twin Revolution in Healthcare. Conference: 2020 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT). IEEE. 2020. URL: https://www.researchgate.net/publication/347023987_The_Digital_Twin_Revolution_in_Healthcare. doi: <https://doi.org/10.1109/ISMSIT50672.2020.9255249>
10. Grieves M. Origins of the Digital Twin Concept. Florida Institute of Technology. 2016. doi: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26367.61609>
11. Grieves M. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication. LLC, 2014.
12. Прохоров А., Лысачев М. *Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт* / науч. ред. А. Боровков. — М.: АльянсПринт, 2020. — 401 с. [Prohorov A, Lysachev M. *Cifrovoy dvojniki. Analiz, trendy, mirovoj opyt* / науч. red. A. Borovkov. Moscow: Al'yansPrint; 2020. 401 p. (In Russ.)]
13. Braun M. Represent me: please! Towards an ethics of digital twins in medicine. *J Med Ethics*. 2021;47:394–400. doi: <https://doi.org/10.1136/medethics-2020-106134>
14. Bruynseels K, Santoni de Sio F, van den Hoven J. Digital twins in health care: Ethical implications of an emerging engineering paradigm. *Front Genet*. 2018;9:31. doi: <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00031pmid>
15. Cearley D, Burk B. Top 10 Strategic Technology Trends for 2019. Gartner, Inc. 15.10.2018. Available from: <https://www.tadviser.ru/images/6/6b/3891569-top-10-strategic-technology-trends-for-2019.pdf>
16. Лисогор Д. Виртуальные органы для спасения реальных жизней. Эксперт — о перспективах цифровых двойников. RUSBASE, 17.04.2020. Available from: <https://rb.ru/opinion/digital-twins/>
17. Lutz A, Pfeiffer D. Humanizing medtech: The dawn of a digital twin. Siemens-Healthineers, 31.08.2021. Available from: <https://www.siemens-healthineers.com/perspectives/humanizing-medtech>
18. Accenture Digital Health Technology Vision 2021. Accenture. 2021. Available from: https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF/156/Accenture-Digital-Health-Tech-Vision-2021.pdf#zoom=40
19. Transforming FDA's Approach to Digital Health: Speech by Scott Gottlieb, M.D. 26.04.2018. FDA, 2018. URL: <https://www.fda.gov/news-events/speeches-fda-officials/transforming-fdas-approach-digital-health-04262018>
20. Software as a Medical Device (SaMD). FDA. Available from: <https://www.fda.gov/medical-devices/digital-health-center-excellence/software-medical-device-samd>
21. Wiggers K. Unlearn.ai raises \$12 million to accelerate clinical trials with “digital twins”. VentureBeat. 20.04.2020. Available from: <https://venturebeat.com/2020/04/20/unlearn-raises-12-million-to-accelerate-clinical-trials-with-digital-twins/>
22. Sahlí-Costabal F, Seo K, Ashley E, Kuhl E. Classifying drugs by their arrhythmogenic risk using machine learning. *Biophys J*. 2020;118(5):1165–1176. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2020.01.012>
23. Björnsson B, Borrebaeck C, Elander N, et al. Digital twins to personalize medicine. *Genome Med*. 2019;12(1):4. doi: <https://doi.org/10.1186/s13073-019-0701-3>
24. Human Genome Project Information Archive 1990–2003. URL: https://web.ornl.gov/sci/techresources/Human_Genome/project/index.shtml
25. Чумаков П.М. Выход за пределы возможного: проект «Геном человека». — *Человек*. — 2012. — № 1. — С. 55–63. [Chumakov PM. Going beyond what is possible: the Human Genome Project. *Human*. 2012;(1):55–63. (In Russ.)].
26. Healthcare solution testing for the future. Digital Twins in healthcare. Available from: <https://www.dr-hempel-network.com/digital-health-technology/digital-twins-in-healthcare/>
27. The 3D printed “digital twin” of your heart that could save your life: AI system lets surgeons simulate surgery. Daily Mail Online, 01.09.2018. Available from: <https://www.dailymail.co.uk/>

- sciencetech/article-6117623/Medtech-firms-gets-personal-digital-twins.html
28. George Lawton. 21 ways medical digital twins will transform healthcare. VENTUREBEAT, 04.07.2021. Available from: <https://venturebeat.com/2021/07/04/21-ways-medical-digital-twins-will-transform-healthcare/>
 29. Solutions for individual patients (siemens-healthineers.com). Available from: <https://www.siemens-healthineers.com/perspectives/mso-solutions-for-individual-patients.html>
 30. Background Information. Erlang, Nov. 2018. Available from: www.siemens-healthineers.com (accessed: 24.09.2020).
 31. Cindy Abole a year later: MUSC, Siemens Healthineers partnership shows progress. MUSC, 23.08.2019. Available from: <https://web.musc.edu/about/news-center/2019/08/23/a-year-later-musc-siemens-healthineers-partnership-shows-progress>
 32. Siemens tech accelerates vaccine production. Siemens USA. Available from: <https://new.siemens.com/us/en/company/press/siemens-stories/usa/digitalized-medicine-siemens-tech-accelerates-vaccine-production.html>
 33. Digital Twin — How to design and execute smart healthcare models. GE Healthcare Command Centers. Available from: <https://www.gehccommandcenter.com/digital-twin>
 34. Cardiac 3D chamber quantifications driven by advanced automation. Available from: <https://www.usa.philips.com/healthcare/resources/feature-detail/ultrasound-heartmodel>
 35. The rise of the digital twin: How healthcare can benefit. Philips, 30.08.2018. Available from: <https://www.philips.com/a-w/about/news/archive/blogs/innovation-matters/20180830-the-rise-of-the-digital-twin-how-healthcare-can-benefit.html>
 36. FEops HEARTguide combines digital twins and AI to revolutionize structural heart planning. FEops, 27.05.2021. Available from: <https://www.feops.com/src/Frontend/Files/MediaLibrary/13/feops-press-release-20210527-final.pdf>
 37. Dassault Systèmes' Living Heart Project Reaches Next Milestones in Mission to Improve Patient Care. Dassault Systèmes, 18.10.2017. Available from: <https://www.3ds.com/press-releases/single/dassault-systemes-living-heart-project-reaches-next-milestones-in-mission-to-improve-patient-car/>
 38. Greenlaw E. Utilizing engineering tools from the aerospace industry to repair hearts — Boston Children's Answers. Boston Childrens Hospital, 21.07.2020. Available from: <https://answers.childrenshospital.org/aerospace-tools-repair-hearts/>
 39. Виртуальные органы и испытание лекарств: цифровые двойники в медицине // РБК. 2021. Available from: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/613b35369a7947506473665e>
 40. Sim & Size. Available from: <https://sim-and-cure.com/simsize/>
 41. Q Bio Announces First Clinical “Digital Twin” Platform and Novel Whole-Body Scanner, and Major Investment from Kaiser Foundation Hospitals. Business Wire. Available from: <https://www.businesswire.com/news/home/20210429005437/en/Q-Bio-Announces-First-Clinical-%E2%80%9CDigital-Twin%E2%80%9D-Platform-and-Novel-Whole-Body-Scanner-and-Major-Investment-From-Kaiser-Foundation-Hospitals>
 42. Возможности цифровых двойников в медицине обсудили в Академии наук. Научная Россия, 08.06.2021. Available from: <https://scientificrussia.ru/articles/funktsii-tsifrovyyh-dvoynikov-v-mediticine-obsudili-v-akademii-nauk>
 43. Дмитрий Чернышенко провел первое заседание Правительственной комиссии по научно-технологическому развитию. Правительство России, 23.09.2021. Available from: <http://government.ru/news/43330/>

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Кобякова Ольга Сергеевна, д.м.н., профессор [*Olga S. Kobyakova*, MD, PhD, Professor]; **адрес:** 127254, Москва, ул. Добролюбова, д. 11 [**address:** 11, Dobrolyubova str., Moscow, 127254, Russia]; **e-mail:** kobyakovaos@mednet.ru, **SPIN-код:** 1373-0903, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0098-1403>

Стародубов Владимир Иванович, д.м.н., профессор, академик РАН [*Vladimir I. Starodubov*, MD, PhD, Professor, Academician of the RAS]; **e-mail:** starodubov@mednet.ru, **SPIN-код:** 7223-9834, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3625-4278>

Куракова Наталья Глебовна, д.б.н. [*Natalia G. Kurakova*, PhD in Biology]; **e-mail:** kurakova-ng@ranepa.ru, **SPIN-код:** 5741-6679, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1896-6420>

Цветкова Лилия Анатольевна, к.б.н. [*Liliya A. Tsvetkova*, PhD in Biology]; **e-mail:** tsvetkova-la@ranepa.ru, **SPIN-код:** 8668-9347, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9381-4078>