

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab110384>

Проблемы и перспективы информационных технологий в здравоохранении России: современные реалии

И.В. Борисов¹, В.А. Бондарь², Д.А. Кудинов³, Ю.Ю. Некрасова¹, М.М. Канарский¹,
П. Прадхан^{1, 4}, В.С. Сорокина¹, И.В. Редкин¹, А.В. Гречко¹, М.В. Петрова^{1, 4}

¹ Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии, Лыткино, Московская область, Российская Федерация

² Национальный медицинский исследовательский центр здоровья детей, Москва, Российская Федерация

³ Диджитал Девелоп Ру, Кудрово, Ленинградская область, Российская Федерация

⁴ Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Информационно-коммуникационные технологии проникают во все направления повседневной жизни современного общества, обучаясь, помогая и заменяя труд человека. Без информационных технологий уже невозможно представить и область медицинской науки: в настоящее время и в недалёкой перспективе они позволят усовершенствовать непрерывность наблюдения за состоянием здоровья, возьмут на себя прогнозирование рисков осложнений, корректировку лекарственной терапии в течение жизни и многие другие процессы.

Статья посвящена проблемам и перспективам информационных технологий в здравоохранении России. Представлена общая модель информационных технологий, освещены проблемы и пути решения ограничений со стороны западных кампаний.

Ввиду цифровизации системы здравоохранения в нашей стране существует необходимость обеспечения непрерывности и независимости от внешнего воздействия информационно-технологических систем в полном их цикле: от клиентских терминалов и систем связи до серверов хранения и обработки данных.

Важнейший фактор, который позволяет с уверенностью говорить о развитии специализированных информационно-технологических решений в системе здравоохранения Российской Федерации — эффективная государственная политика в обеспечении цифровизации экономики: национальные проекты, государственные программы, изменение законодательства, дорожные карты достижения ключевых показателей.

Ключевые слова: здравоохранение; искусственный интеллект; технологии; дистанционные технологии; медицина; помощь; реабилитация; инвалидность; ограничение жизнедеятельности; медико-социальная экспертиза.

Как цитировать

Борисов И.В., Бондарь В.А., Кудинов Д.А., Некрасова Ю.Ю., Канарский М.М., Прадхан П., Сорокина В.С., Редкин И.В., Гречко А.В., Петрова М.В. Проблемы и перспективы информационных технологий в здравоохранении России: современные реалии // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2022. Т. 4, № 4. С. 271–282. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab110384>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab110384>

Problems and prospects of it in healthcare in Russia: modern realities

Ilya V. Borisov¹, Valeriya A. Bondar², Dmitriy A. Kudinov³, Iuliia Yu. Nekrasova¹, Mikhail M. Kanarskii¹, Pranil Pradhan^{1, 4}, Viktoriya S. Sorokina¹, Ivan V. Redkin¹, Andrey V. Grechko¹, Marina V. Petrova^{1, 4}

¹ Federal Scientific and Clinical Center of Reanimatology and Rehabilitation, Lytkino, Moscow region, Russian Federation

² National Medical Research Center for Children's Health, Moscow, Russian Federation

³ Digital Developer LLC, Kudrovo, Leningrad Region, Russian Federation

⁴ Peoples Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Information and communication technologies penetrate into all areas of everyday life of modern society, learning, helping and replacing human labor. Without information technologies, it is already impossible to imagine the field of medical science: at present and in the near future, they will improve the continuity of health monitoring, take over the prediction of the risks of complications, the adjustment of drug therapy during life and many other processes.

The article is devoted to the problems and prospects of information technologies in healthcare in Russia. The general model of information technologies, problems and ways of solving the restrictions from Western campaigns are highlighted. In view of the digitalization of the healthcare system in our country, the article talks about the need to ensure the continuity and independence from external influence of information technology systems in its full cycle: from client terminals, communication systems, to data storage and processing servers.

The most important factor that allows us to speak with confidence about the development of specialized information technologies solutions in the healthcare system of the Russian Federation is an effective state policy in ensuring the digitalization of the economy: national projects, government programs, changes in legislation, roadmaps for achieving key indicators.

Keywords: healthcare; artificial intelligence; technologies; remote technologies; medicine; assistance; rehabilitation; disability; sociomedical assessment.

To cite this article

Borisov IV, Bondar VA, Kudinov DA, Nekrasova IuYu, Kanarskii MM, Pradhan P, Sorokina VS, Redkin IV, Grechko AV, Petrova MV. Problems and prospects of it in healthcare in Russia: modern realities. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2022;4(4):271–282. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab110384>

Received: 26.08.2022

Accepted: 30.10.2022

Published: 18.11.2022

Список сокращений

ЕМИАС — Единая медицинская информационно-аналитическая система

ИИ — искусственный интеллект

ИТ — информационные технологии

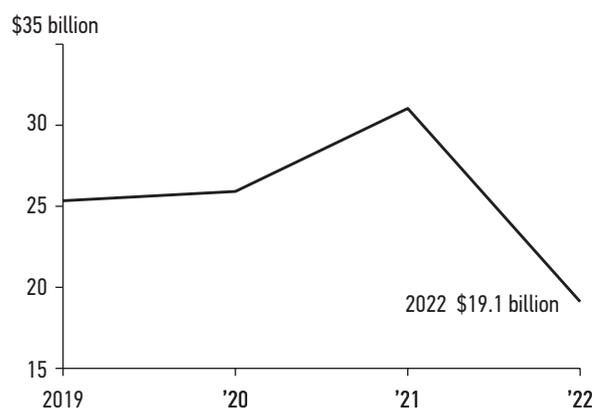
ВВЕДЕНИЕ

Информационные технологии (ИТ) во всём мире проникают во все направления повседневной деятельности людей, обучаясь, помогая и заменяя человеческий труд. В настоящее время существует большое количество компаний, эффективность и вектор дальнейшего развития которых формируются в результате глубокого анализа ежедневных процессов, микро- и макроизменений, происходящих в мире. До развития и адаптации ИТ в рабочий процесс аналитические отделы предприятий, состоящие из групп специалистов высокой квалификации, формировали отчёты, затрачивая на это существенный объём времени и сил. В настоящее время ИТ с применением алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ) сокращает значительное количество времени на данный процесс, обеспечивая высокую результативность с более эффективным соотношением критерия результат–затраченное время.

ИТ вошли и в область медицинской науки, оказывая существенную помощь медицинским работникам в решении актуальных практических задач: так, например, в период пандемии с помощью ИТ-технологий был расшифрован колоссальный массив рентгеновских снимков лёгких; проведён массовый скрининг температуры тела в общественных местах с идентификацией личности; разработаны новые формы лекарственных средств и др. В настоящее время и в недалёкой перспективе ИТ позволят усовершенствовать непрерывность наблюдения за состоянием здоровья, возьмут на себя прогнозирование рисков осложнений, корректировку лекарственной терапии в течение жизни человека и многие другие процессы.

Насыщение отрасли здравоохранения передовыми решениями, построенными на базе ИТ, связано с рядом комплексных обстоятельств: современная геополитическая ситуация, обусловленная внешними ограничениями Российской Федерации, привела к необходимости применения и развития ИТ силами собственного производства. Сложности реализации этих целей объясняются тем, что за всё время развития технологического процесса львиная доля комплектующих и готовых программных решений поставлялась из других стран, что экономически было значительно выгоднее развития собственных производств с длительной окупаемостью. Это привело к деградации инфраструктуры производства российских ИТ, которые базируются на электронных компонентах собственных разработок. Однако события последних лет могут стать пусковым механизмом к созданию частных и государственных производственных компаний, которые в перспективе обеспечат независимость от внешнего воздействия и восполнят дисбаланс технологической базы страны.

Russia IT Spending, 2019–2022



Note: The years 2021 and 2022 are forecast estimates.
Source: International Data Corp.

Рис. 1. Прогноз ИТ-сектора рынка Российской Федерации в 2022 году (https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ИТ-рынок_России#).

Fig. 1. Forecast of the IT sector of the Russian Federation market in 2022 (https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ИТ-рынок_России#).

После введения в I квартале 2022 года экономических санкций в отношении Российской Федерации крупнейшие западные ИТ-гиганты, такие как Microsoft, Oracle, Cisco, IBM, Adobe, SAP, Intel, AMD и др., приняли решение ограничить или прекратить деятельность в нашей стране. В совокупности эти компании создали брешь во всём ИТ-секторе экономики нашей страны. По прогнозам консалтинговой компании IDC (International Data Corporation, США), объём ИТ-рынка в 2022 году сократится на 12,1 млрд долларов, что соответствует 39% относительно показателей 2021 года, и составит 19,1 млрд долларов (рис. 1)¹.

РОССИЙСКИЕ ОПЕРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ: ТЕКУЩАЯ РЕАЛЬНОСТЬ

В Российской Федерации уже разработаны программные продукты, которые по своему функционалу аналогичны западным. К таким можно отнести «МойОфис», предоставляющий возможности пакета программ Microsoft 365, а «1С» включает в себя ряд функций, которые заложены в программное обеспечение компании SAP. Введённые экономические

¹ ИТ-рынок России. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ИТ-рынок_России#. Дата обращения: 31.08.2022.

санкции привели отечественные компании к необходимости перехода на программное обеспечение российского производства с целью продолжения своей деятельности, однако для ряда организаций данный переход затруднителен вследствие высокой интеграции их производства в программное обеспечение определённых зарубежных разработчиков.

Сигналы о необходимости перехода и начала разработки отечественного программного обеспечения поступали ещё в 2014 году, когда санкции западных компаний демонстрировали возможности односторонней отмены лицензий на купленное программное обеспечение и прекращения услуг облачных технологий для российских компаний. Текущая реальность свидетельствует о наступлении того момента, когда независимость от внешнего воздействия могут ощутить малый и крупный бизнес нашей страны.

В 2014 году начался переход с операционной системы MS Windows: предприятия перешли на российские операционные системы, разработанные на базе свободно распространяемого ядра Linux: Astra Linux, Alt Linux, РЕД ОС, Эльбрус и др., что коснулось как частных, так и государственных организаций (школ, медицинских организаций, военных с наивысшей секретностью). Цифровизация системы здравоохранения в нашей стране также требует обеспечения непрерывности и независимости от внешнего воздействия информационно-технологических систем в полном их цикле: от клиентских терминалов и систем связи до серверов хранения и обработки данных.

Одной из показательных медицинских систем, построенной на базе открытого программного обеспечения,

является Единая медицинская информационно-аналитическая система (ЕМИАС), разработанная Департаментом информационных технологий города Москвы. Впервые ЕМИАС была представлена в марте 2013 года, а к 2022 году уже полностью интегрирована в систему здравоохранения города Москвы, включая поликлиническую сеть, родильные дома, перинатальные центры и другие медицинские организации (рис. 2). За технологическую основу ЕМИАС взяты система Alt Linux и офисный пакет LibreOffice. Серверная операционная система базируется на SLES. Фактически полная программная независимость делает систему ЕМИАС надёжной, активно развивающейся системой. По мощности к числу подобных систем можно отнести Портал государственных услуг Российской Федерации (gosuslugi.ru) и Портал госуслуг Москвы (pgu.mos.ru). С другой стороны, отсутствие в России электронных компонентов (процессоров, модулей памяти), равных по своей производительности импортным, в сложившейся ситуации отказа в поставках продукции компаний Intel и AMD ставит под угрозу отдалённую перспективу безотказности работы узлов серверов и клиентских модулей, не говоря про возможности улучшения производительности с постоянным возрастанием нагрузки на систему. Это приводит к необходимости разработки высокопроизводительных аппаратных комплексов для внедрения в государственные системы.

В настоящее время АО «МЦСТ» (Московский центр SPARC-технологий) занимается производством микропроцессоров, микроконтроллеров, проектированием отказоустойчивых компьютеров на базе микропроцессоров

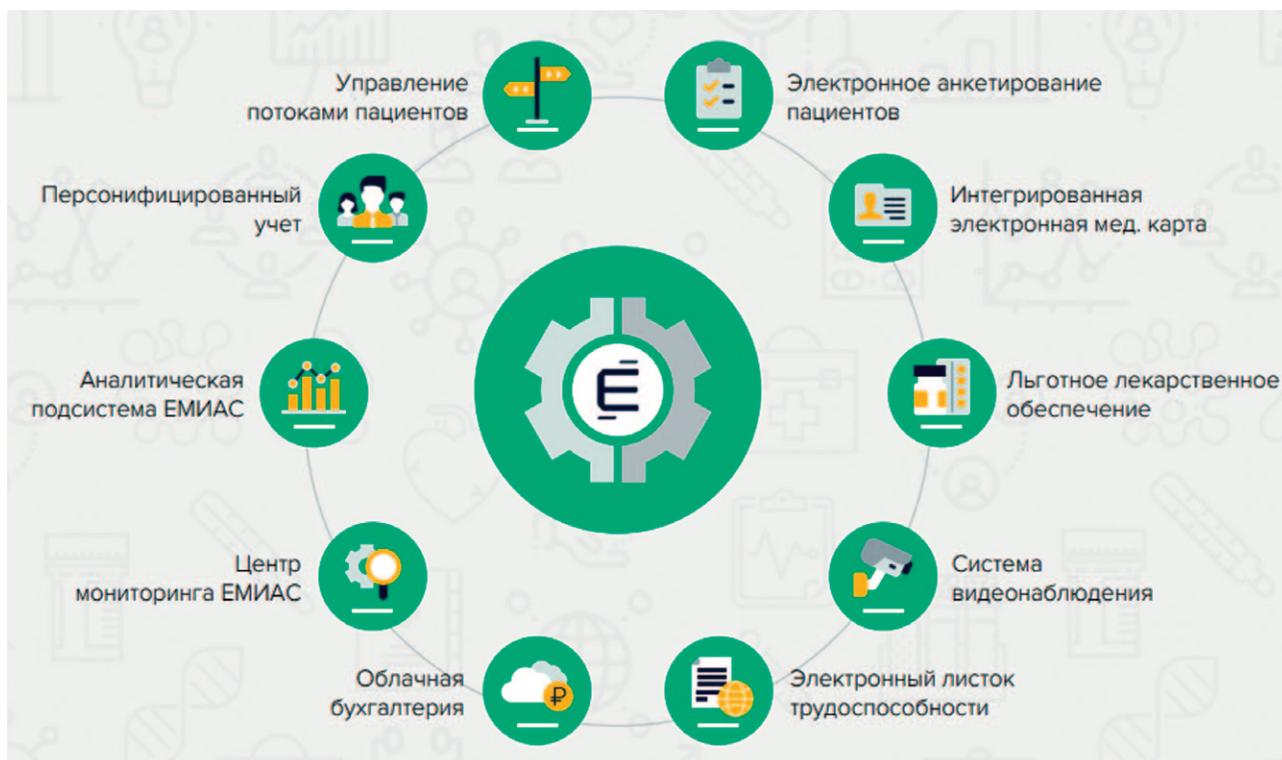


Рис. 2. Возможности Единой медицинской информационно-аналитической системы.

Fig. 2. Capabilities of the Unified Medical Information and Analytical System.

собственной разработки и других систем и модулей. К настоящему времени производимые процессоры «Эльбрус» имеют ряд ограничений по производительности и не могут конкурировать с продуктами компаний Intel и AMD. В проекте АО «МЦСТ» — разработать к 2025 году 7-е поколение архитектуры «Эльбрус» — «Эльбрус-32С» (высокопроизводительный 32-ядерный микропроцессор), однако существенной выглядит проблема производства микроконтроллеров на заводе TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company) в Тайване, который, наряду с многими ИТ-компаниями, присоединился к санкциям и больше не поставляет свою продукцию в нашу страну². С аналогичной проблемой столкнулась отечественная компания зеленоградского Научно-производственного центра «Электронные вычислительно-информационные системы» (АО НПЦ «Элвис»), производство микросхем для которой завязано с тем же тайваньским предприятием³.

Практика расположения производственных мощностей в других странах не нова. Американская компания Intel производит свои электронные компоненты в других странах. В частности, в 2010 году заработал первый завод в Китае, на строительство которого ушло более 3 лет и 2,5 млрд долларов. До настоящего времени 80% микросхем производится в Азии (в основном это тайваньская TSMC и южнокорейская Samsung). Понимая возможные геополитические изменения в мире, в планах компании в конце 2022 года приступить к строительству нового крупного комплекса в штате Огайо (США) при государственной поддержке. Правительство США нацелено на локализацию производства и принимает дополнительные меры, чтобы компании строили дополнительные фабрики в стране^{4, 5}.

Единственным в России заводом по производству микросхем является предприятие «Микрон». В настоящее время это самый современный завод с техпроцессом 65 нм, что, по мировым меркам, соответствует уровню 20-летней давности. Таким образом, ни АО «МЦСТ», ни АО «Микрон» не смогут реализовывать свои технологии ввиду их работы с топологией 16 нм с перспективой скорого перехода на 10 нм. Другой российский завод по производству электронных компонентов с топологией 600 нм — АО «Ангстрем» — ориентирован на военно-промышленный комплекс.

ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Необходимость в развитии собственных технологических мощностей должна стать одной из стратегических целей современного этапа информационной эволюции Российской Федерации. Широта и потенциал использования информационных технологий вынуждает использовать современную высокопроизводительную основу для использования в различных нишах повседневной деятельности. С этой целью российский завод «Микрон» собирается удвоить объёмы выпускаемой продукции, и к 2025 году суммарный выпуск кремниевых пластин для микросхем с топологией 180–90 нм должен увеличиться с нынешних 3000 в месяц до 6000⁶. Ускоренное развитие технологического процесса полного цикла окажет существенное влияние на перспективы развития ключевых систем государства, включая одну из самых важных — здравоохранение.

Важнейший фактор, который позволяет с уверенностью говорить о развитии специализированных ИТ-решений в системе здравоохранения Российской Федерации, — эффективная государственная политика в обеспечении цифровизации экономики: национальные проекты, государственные программы, изменение законодательства, дорожные карты достижения ключевых показателей. Одним из решений является программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [1], принятая в целях реализации стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы. Программой предусматриваются три тесно взаимодействующих друг с другом уровня: рынки и отрасли экономики, платформы и технологии, среда. Основными сквозными цифровыми технологиями, которые входят в рамки программы, являются большие данные, нейротехнологии и ИИ, системы распределённого реестра, квантовые технологии, новые производственные технологии, промышленный интернет, компоненты робототехники и сенсорики, технологии беспроводной связи, технологии виртуальной и дополненной реальности. Все эти технологии являются необходимыми элементами, на основе которых создаются в том числе отраслевые решения, востребованные в практическом здравоохранении: автоматизация, инструменты принятия решений на основе данных, роботизированные средства реабилитации, интернет-медицинских вещей, телемедицина и др.

В соответствии с положениями Программы «Цифровая экономика Российской Федерации», реализация отдельных направлений по отраслям экономики (при этом сфера здравоохранения указывается как приоритетная), включая контрольно-надзорную деятельность, осуществляется на основе специальных разделов, а также путём разработки дорожных карт с датой реализации (достижение

² Все, что известно о процессорах «Эльбрус». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://club.dns-shop.ru/digest/54388-vse-chto-izvestno-o-protessorah-elbrus/>. Дата обращения: 31.08.2022.

³ Российские процессоры сделают на Тайване. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2021/03/03/860132-rossiiskie-protessori>. Дата обращения: 31.08.2022.

⁴ Intel построит в Огайо два новых завода за \$20 млрд с местом под расширение. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/news/t/647423/>. Дата обращения: 31.08.2022.

⁵ Intel открыла первый завод в Китае. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.cnews.ru/news/top/intel_otkryla_pervyj_zavod_v_kitae. Дата обращения: 31.08.2022.

⁶ Российский «чипмейкер № 1» удваивает производство. Российской микроэлектронике дадут новую жизнь. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.cnews.ru/news/top/2022-04-22_rossijskij_chipmejker_1. Дата обращения: 31.08.2022.

заданных параметров) к 31 декабря 2024 года. В настоящее время, согласно дорожным картам, достигнуто значительное количество целей, необходимых для реализации задач в развитии новых информационных технологий в сфере здравоохранения, таких как запуск необходимых инфраструктурных решений, обеспечение медицинских организаций широкополосным доступом в сеть Интернет, запуск и стимулирование образовательных и научно-исследовательских программ, институтов, стартапов и других мероприятий в системе здравоохранения, а также в смежных отраслях. Особенно следует отметить мероприятия, направленные на совершенствование законодательства и инфраструктуры в системе телемедицинских технологий, а также разработку и запуск в работу Единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения. Все эти, равно как и многие другие решения, связанные единой нормативной и целеполагающей базой, сформировали основу для развития информационных технологий в практическом здравоохранении Российской Федерации: увеличение численности профильных специалистов с необходимым уровнем цифровых компетенций, доступность цифровых инструментов для медицинских организаций, увеличение численности специалистов по направлению «организация здравоохранения», обладающих необходимыми управленческими и кросс-культурными компетенциями, и др.

Увеличение объёма практических задач в системе здравоохранения, решаемых за счёт или с применением информационных технологий, само по себе становится стимулирующим основанием и базой для формирования новых решений, что позволяет говорить, в том числе, по состоянию на 2022 год, о формировании синергетического эффекта.

Тем не менее ряд задач в соответствии с дорожными картами программы «Цифровая экономика Российской Федерации», по состоянию на 2022 год, ещё только предстоит достигнуть. В частности, на 2023 год запланировано достижение показателей в области межведомственного электронного документооборота, а также в 2023 году планируется создание так называемой инфраструктуры «Цифровой профиль». От этих и других задач в первую очередь зависят сроки полноценного внедрения в практическое здравоохранение Российской Федерации многих цифровых инструментов, предусматривающих передачу и использование персональных данных пациентов, а также иные виды документооборота, используемого в лечении пациентов и обеспечении деятельности медицинских организаций. Немаловажно, что с момента появления необходимых цифровых решений, снабжённых правовыми основами, организациям и специалистам, работающим с такими решениями, равно как ведущим их разработку и адаптацию, потребуется время на проведение всех необходимых мероприятий.

При рассмотрении путей развития ИТ в здравоохранении Российской Федерации следует отметить, что одним из перспективных направлений является интеграция государственной системы ведения электронных медицинских

карт в медицинские организации всех регионов страны. Включение элементов ИИ в систему сбора и обработки больших данных поможет в прогнозировании эпидемиологических процессов, улучшении тактики лечения и прогнозирования потребностей в медицинской помощи в различных городах и сёлах, в том числе удалённых. Это также в перспективе позволит обеспечить непрерывность этапов оказания медицинской помощи, включая амбулаторный этап реабилитации.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ НА СТРАЖЕ СИСТЕМЫ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

Направленность информационных технологий

Современное развитие системы здравоохранения во всём мире неотъемлемо связано с информационными технологиями, в частности ИИ. Согласно прогнозу McKinsey & Company (Международная консалтинговая компания, специализирующаяся на решении задач, связанных со стратегическим управлением), к 2030 году с помощью ИИ будет автоматизировано 15% рабочего времени специалистов в сфере здравоохранения. Наибольшая доля технологий будет применена для сбора и обработки данных, выполнения физических действий и работы с оборудованием в предсказуемых условиях^{7, 8}.

Значительная роль и потенциальная польза технологий в здравоохранении подтверждается также недавним приобретением ИТ-гигантом Microsoft компании Nuance Communication за 19,7 млрд долларов США. Приобретённая компания разработала программное обеспечение по переводу речи в текст, что нашло своё применение в системе здравоохранения⁹. По прогнозам Research and Markets (аналитическое агентство по исследованию рынка), объём мирового рынка ИИ в здравоохранении достигнет 51,3 млрд долларов США. Для сравнения, в 2016 году он составлял 1,1 млрд долларов США. Существенную роль во внедрении ИИ в сферу здравоохранения играет частный сектор: инвестиции венчурного капитала в проекты, связанные со здравоохранением, достигают 8,5 млрд долларов США¹⁰.

⁷ Transforming healthcare with AI: The impact on the workforce and organizations. [Internet]. Режим доступа: <https://www.mckinsey.com/industries/healthcare-systems-and-services/our-insights/transforming-healthcare-with-ai>. Дата обращения: 31.08.2022.

⁸ Making healthcare more affordable through scalable automation. [Internet]. Режим доступа: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/making-healthcare-more-affordable-through-scalable-automation>. Дата обращения: 31.08.2022.

⁹ Microsoft goes all in on healthcare with \$19.7B Nuance acquisition. [Internet]. Режим доступа: <https://techcrunch.com/2021/04/12/microsoft-goes-all-in-on-healthcare-with-19-7b-nuance-acquisition/>. Дата обращения: 31.08.2022.

¹⁰ Transforming healthcare with AI: The impact on the workforce and organizations. [Internet]. Режим доступа: <https://www.mckinsey.com/industries/healthcare-systems-and-services/our-insights/transforming-healthcare-with-ai>. Дата обращения: 31.08.2022.

В медицинском сообществе может возникнуть опасение в вопросе замены человеческого труда на машинный с развитием технологий, однако практически все технологии направлены на упрощение труда медицинского персонала, улучшение качества оказываемой помощи, корректировку лекарственной терапии и другие аспекты медицинской деятельности. К числу применяемых технологий следует отнести умные кровати, которые непрерывно регистрируют показатели состояния здоровья пациента и информируют о них медицинским работникам; робототехнику в хирургической практике (Da Vinci); носимые устройства, отслеживающие у больных с хроническими заболеваниями уровень артериального давления, значения сахара в крови и т.д.; роботизированные тележки, которые доставляют еду, хирургическое оборудование и расходные материалы в медицинских центрах.

Успешным достижением в нейротехнологии является технология Neuralink, представленная в 2019 году Илоном Маском. Данная технология позволяет считывать информацию из структур головного мозга. В основе — шесть нитей толщиной четыре микрометра. На каждой нити закреплено несколько десятков электродов, которые вживляются в головной мозг специальным роботом. Их задача — мониторировать активность мозга и передавать данные с помощью чипа, расположенного за ухом. В перспективе предполагается беспроводная передача данных. В 2021 году данный чип был вживлён в мозг обезьяны, что позволило проанализировать активность работы головного мозга во время игры примата сначала при помощи джойстика, а затем уже при помощи силы мысли^{11, 12}.

Глобально технология ИИ применима на различных уровнях:

- проектирования: прогнозирование заболеваний, выявление групп пациентов с высоким риском заболеваний, организация профилактических мер;
- производства: автоматизация и оптимизация процессов в больницах, автоматизация и повышение точности диагностики;
- продвижения: управление ценообразованием, снижение рисков для пациентов;
- обслуживания: адаптация терапии и состава лекарств для каждого отдельного пациента, использование виртуальных ассистентов для построения маршрута пациента в поликлинике или больнице.

В сентябре 2021 года стало известно о создании нового аппаратно-программного комплекса для ситуационного центра Минздрава России, который предназначен для того, чтобы в режиме реального времени получать информацию о различных ситуациях, показателях и отчётах (заболеваемость

населения, количество больных и т.п.), касающихся сферы здравоохранения. В рамках обновления планируется создать единую базу медицинских знаний с использованием ИИ. На данные нужды заложено 150 млн рублей¹³.

Интеграция информационных технологий в персонализированную медицину

Применение технологий приводит в совокупности к развитию предиктивной, превентивной и персонализированной медицины. Согласно Концепции развития, принятой в 2018 году Приказом Министерства здравоохранения РФ [2], под персонализированной понимают медицину, в основе которой лежит анализ характеристик, которые можно объективно измерить и которые могут служить индикатором физиологических и патологических биологических процессов или фармакологических ответов на проводимое лечение, называемых биомаркерами, а также применение персонализированных методов и способов лечения заболеваний и коррекции состояний.

Ещё в древние времена было отмечено, что одно и то же лекарство помогает одному человеку и не помогает либо откровенно вредит другому человеку с тем же заболеванием. Открытия XXI века в области науки о жизни (Life sciences), такие как полная расшифровка генома человека в 2003 году и последовавший за этим проект «1000 геномов», позволили объяснить, почему так происходит: генетический код всех людей совпадает более чем на 99%, а оставшимся 1% обусловлены все наши индивидуальные различия и реакции организма.

Персонализированная медицина помогает обнаружить предрасположенность к заболеваниям, приостановить их развитие и приступить к лечению на ранних стадиях. Такой подход существенно снижает расходы на здравоохранение (лечение на поздних стадиях заболевания обходится значительно дороже), поэтому персонализированная медицина экономически выгодна. По данным Precedence Research (международная компания по исследованию рынка), рынок персонализированной медицины оценивался в 2019 году в 59 трлн долларов, а к 2027 году показатель, по прогнозам, вырастет до 141 трлн долларов, при этом совокупный среднегодовой темп роста к 2025 году составит 10,6%.

Одной из первых и самых развитых областей применения персонализированной медицины стала онкология. Например, известно, что определённые мутации в генах *BRCA1* или *BRCA2* повышают риск развития рака груди у женщин до 85% вместо обычных 13%. Зная о наличии такой мутации, можно сосредоточиться на превентивных мерах, т.е. чаще проводить мониторинг с целью обнаружения болезни на ранней стадии.

Однако в настоящее время персонализированную медицину используют для лечения не только редких

¹¹ Elon Musk's Neuralink could transition from implanting chips in monkeys to humans within the year. [Internet]. Режим доступа: <https://www.businessinsider.com/elon-musk-predicts-neuralink-chip-human-brain-trials-possible-2021-2021-2>. Дата обращения: 31.08.2022.

¹² Продлить жизнь и победить смерть — на что способен искусственный интеллект. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/netologyru/blog/561692/>. Дата обращения: 31.08.2022.

¹³ Искусственный интеллект в медицине. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://zdrav.expert/index.php/Статья:Искусственный_интеллект_в_медицине. Дата обращения: 31.08.2022.

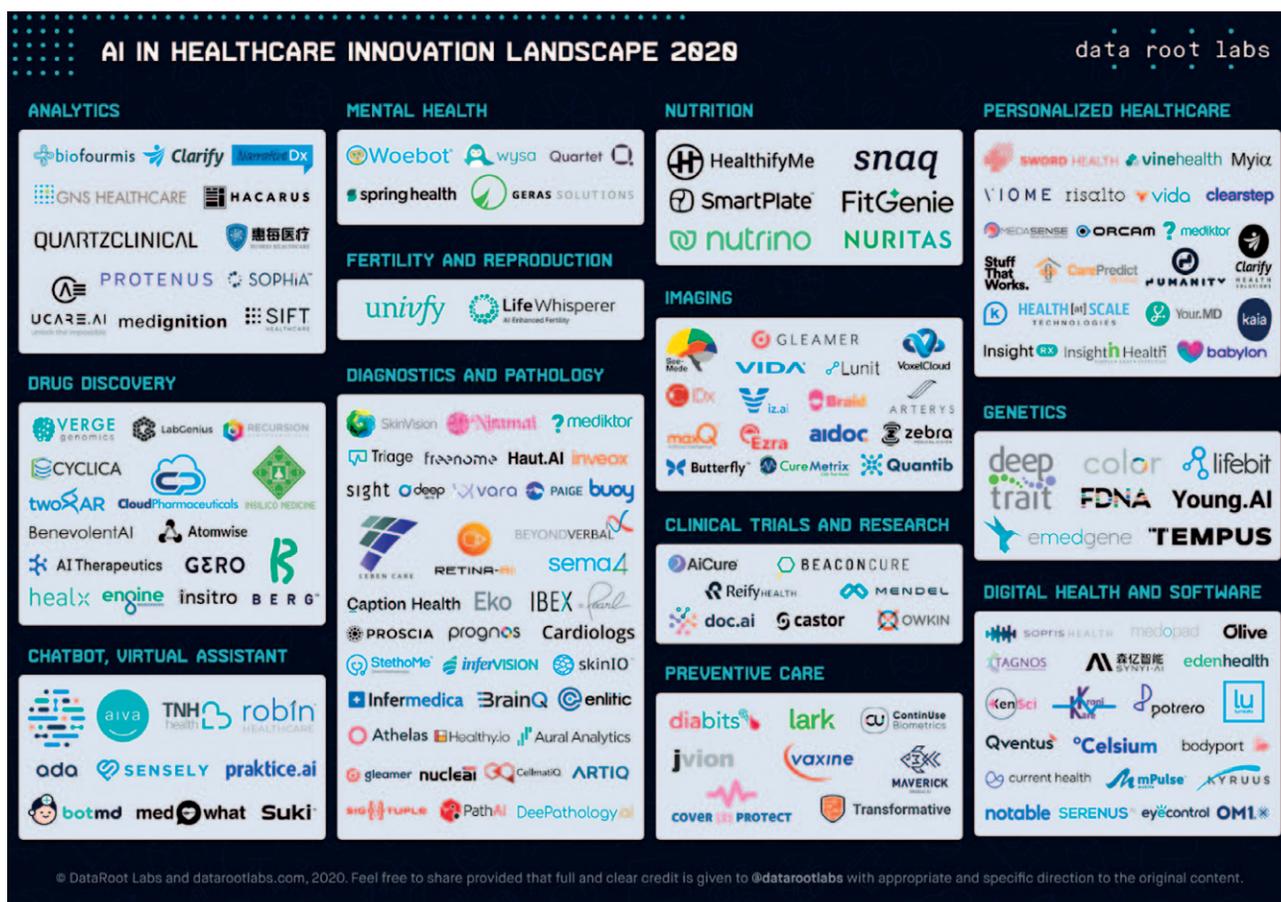


Рис. 3. Компании в области здравоохранения, использующие технологии искусственного интеллекта, по данным 2020 г.

Fig. 3. Healthcare companies using artificial intelligence technologies, according to data for 2020.

генетических заболеваний или рака, но и таких болезней, как эпилепсия или аллергия. Более того, с 2020 года персонализированная медицина наряду с генетической информацией учитывает и другие факторы: семейные, экономические, социальные, питание, образ жизни.

Персонализированная медицина находит применение в борьбе с новой коронавирусной инфекцией. Так, учёные из Оксфорда (Великобритания) с помощью статистических методов обнаружили 68 генов, с которыми может быть связано тяжёлое течение COVID-19, и отметили, что 17 из них могут быть успешно использованы для создания лекарств¹⁴.

Носимые медицинские устройства также являются частью персонализированной медицины, в том числе с использованием ИИ. Данным направлением занимается большое число ИТ-компаний во всём мире (рис. 3).

Такие ИТ-гиганты, как Amazon, Apple, Microsoft, инвестируют и покупают компании, работающие в сфере здравоохранения. Так, Amazon за 750 млн долларов купила PillPack для продажи лекарств онлайн. Alphabet инвестирует миллиарды долларов в Google Health с её десятками проектов, в том числе AI-роботами, для совершения

различных операций и повышения эффективности скрининга ретинопатии при сахарном диабете. Apple создала Health App и продвигает Apple Watch в первую очередь как монитор для здоровья, а недавно открыла собственную сеть медицинских клиник. Microsoft приобрела компанию Nuance (компания из США, занимающаяся разработкой технологии распознавания голоса и ИИ для здравоохранения и других сфер) за 19,7 млрд долларов¹⁵.

Понимая перспективность работы с большими медицинскими данными, компания Google несколько лет собирала персональные медицинские данные 50 млн американцев без их ведома. В рамках проекта Project Nightingale («Проект Соловей») она создавала глобальную базу с медицинскими картами пациентов, в которой содержалась информация об их исследованиях и анализах, диагнозах и заключениях врачей, а также записи о госпитализации и истории болезней¹⁶.

Amazon в партнёрстве с JPMorgan и Berkshire Hathaway запустила проект Haven, призванный дать их сотрудникам

¹⁴ Волшебная таблетка: какие задачи решает персонализированная медицина. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rb.ru/opinion/personalizirovannaya-medicina/>. Дата обращения: 31.08.2022.

¹⁵ Microsoft за \$19,7 млрд купила разработчика ИИ для здравоохранения — nuance. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vademec.ru/news/2021/04/13/microsoft-za-19-7-mlrd-kupila-razrabotchika-ii-dlya-zdravookhraneniya-nuance/>. Дата обращения: 31.08.2022.

¹⁶ Google за год собрала персональные медицинские данные миллионов американцев без их ведома. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/news/t/475484/>. Дата обращения: 31.08.2022.

доступ к лучшей медицине. В сумме у компаний больше 1,6 млн рабочих. Эксперты предполагают, когда Amazon соберёт данные о болезнях и потребностях сотрудников, компания сможет лучше продавать свои услуги и понимать, как развивать новые медицинские направления. До этого, в 2017 году, Amazon основала лабораторию «1492», задачей которой среди прочих являются разработка платформы для сбора медицинских записей и данных пациентов, создание платформы телемедицины и разработка медицинских приложений для устройств Amazon. Так, например, уже сейчас можно «пожаловаться» своей домашней умной колонке на боли в спине, и она подскажет, с чем боли могут быть связаны и какие средства стоит приобрести для облегчения состояния. Лаборатория «1492» помогла в том числе создать Amazon Halo — браслет, помогающий следить за температурой тела, тоном голоса и качеством сна¹⁷.

В 2017 году компания «Сбер» (ранее «Сбербанк») приобрела 79,6% акций медицинского сервиса по поиску и записи к врачу DocDoc.ru. Сумма сделки не разглашается, однако предполагают, что она составила от 800 до 1,6 млрд рублей¹⁸. Дальнейший ребрендинг (стратегия) купленной компании запустил проект «СберЗдоровье», в котором возможно произвести запись на консультацию к врачу или диагностику, совершить вызов врача на дом, а также получить онлайн-консультации для пациентов и консультации ветеринаров. По данным «Сбер», сервис сотрудничает более чем с 4000 частных клиник, а число пользователей превышает 7,5 млн человек. Отдельным подразделением является компания «СберМедИИ» — экосистемный интегратор передовых решений с использованием ИИ-технологий для медицины. Платформа «СберМедИИ» объединяет более 50 разработок и решений «СберМедИИ» и других компаний экосистемы «Сбера» и партнёров, в числе которых умный помощник врача «ТОП-3», «КТ Лёгких», «КТ Инсульт» и др. Все сервисы объединены на платформе Медицинского цифрового диагностического центра (Medical Digital Diagnostic Center, MDDC), который выступает в качестве «одного окна» для партнёров. MDDC предназначен для лечебно-профилактических учреждений России и встраивается в медицинские информационные системы и рабочие станции врачей [3].

Российская компания «СимбирСофт» с 2001 года занимается разработкой и тестированием программного обеспечения, при этом сделала упор на ИТ-решения для медицинской сферы, включая телемедицину, CRM-системы для клиник (Customer Relationship Management, или Управление отношениями с клиентами), разработку мобильных приложений для клиентов и медицинского персонала. Результатом стали разработка сервиса для онлайн-консультаций пациента с врачом (более 5000 пользователей в сутки),

а также разработка системы автоматизации работы врачей (позволяет сократить время на заполнение рутинной документации на 24%), оптимизации логистики пациентов и формирования выписной документации^{19, 20}.

Растёт количество отечественных ИТ-компаний, в том числе использующих в своей работе ИИ. К числу таких компаний можно отнести Botkin.AI — платформу для диагностики и анализа рисков развития заболеваний на основе математических моделей представления пациентов с использованием технологий ИИ. Сервис анализирует медицинские изображения: компьютерно-томографические снимки (определение злокачественных новообразований в лёгких на ранних стадиях), рентген (определение онкологических и неонкологических патологий), маммограммы и данные флюорографии.

Задачей продукта Webiomed российской компании «К-Скай» является прогнозирование рисков возникновения и развития заболеваний в регионе, городе, лечебно-профилактическом учреждении, а также у отдельно взятого человека, что способствует снижению заболеваемости и смертности, используется в качестве эффективного инновационного инструмента на основе ИИ по увеличению продаж и управлению рисками путём анализа электронных медицинских карт пациента.

Одной из значимых разработок в области медицины, не только программной, но технологической, является система «Нейрочат» (компания ООО «НейроЧат»). Устройство в виде шапочки считывает активность головного мозга, компьютер расшифровывает её и распознаёт команды пользователя. В результате парализованный человек может управлять бытовыми приборами и гаджетами, в том числе набирать текст и отправлять сообщения. Облегчающей жизнь новинкой обеспечены уже более 500 человек. Нейроинтерфейс может отдавать команду не ноутбуку или планшету, а живящему в мозг имплантату. Подобная связь может заменить собой разрушенные инсультом нейронные связи, и тогда пользователь вновь сможет управлять своими органами речи²¹.

Совместная с иностранными коллегами разработка Санкт-Петербургского государственного университета позволила создать технологию NeuroPrint, которая поможет быстро и дёшево снабжать людей с травмами и заболеваниями нервной системы индивидуальными имплантатами. Технология NeuroPrint опирается на использование 3D-принтера, при этом создание устройства от проекта до изготовления занимает всего сутки. Сначала устройство изготавливает основу будущего нейропротеза методом

¹⁹ Создаем ИТ-решения для медицинской сферы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://medtech.sibirsoft.com/>. Дата обращения: 31.08.2022.

²⁰ Как ИТ-решения помогают докторам России и Европы: диагностика рака и другие задачи. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vc.ru/future/108106-kak-it-resheniya-pomogayut-doktoram-rossii-i-evropy-diagnostika-raka-i-drugie-zadachi>. Дата обращения: 31.08.2022.

²¹ В России парализованные после инсульта люди управляют компьютером силой мысли. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://smotrim.ru/article/2451906>. Дата обращения: 31.08.2022.

¹⁷ ИТ-гиганты нацелились на медицину. Что это значит для нас? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/568584/>. Дата обращения: 31.08.2022.

¹⁸ «Для меня сумма сделки со «Сбербанком» не выглядит как вау-достижение». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vc.ru/story/24117-docdoc-interview>. Дата обращения: 31.08.2022.

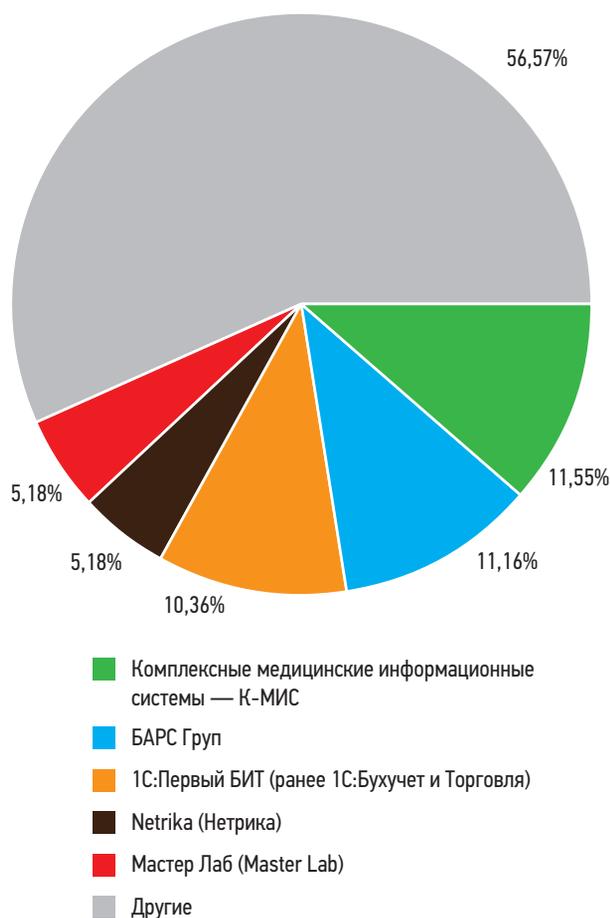


Рис. 4. Распределение компаний по количеству проектов медицинских информационных систем.

Fig. 4. Distribution of companies by the number of medical information systems projects.

экструзии, материалом для которой служит мягкий и биосовместимый силикон. Затем методом струйной печати на основу наносятся электроды, состоящие из хорошо проводящего ток гибкого и химически устойчивого металла, например, платины. Наконец, электроды обрабатываются холодной плазмой, что улучшает их свойства. Испытания изготовленных по новой технологии устройств на кошках, крысах и рыбах данио-рерио продемонстрировали отличные результаты. Новые имплантаты восстанавливали подвижность парализованных животных как минимум не хуже, чем их традиционные и весьма дорогие аналоги. Кроме того, учёные испытали на здоровых крысах имплантат, который считывает сигналы коры головного мозга (таким образом человек может управлять техникой силой мысли)^{22, 23}.

²² В России создана технология 3D-печати индивидуальных протезов для мозга. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://smotrim.ru/article/2461869>. Дата обращения: 31.08.2022.

²³ Ученые разработали технологию печати на 3D-биопринтере персонализированных нейропротезов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://spbu.ru/news-events/novosti/uchenye-razrabotali-tehnologiyu-pechat-na-3d-bioprintere-personalizirovannyh>. Дата обращения: 31.08.2022.

Разработками медицинских информационных систем (МИС) в Российской Федерации занимается более 70 ИТ-компаний. МИС — система автоматизации документооборота для медицинских учреждений, в которой объединены система поддержки принятия врачебных решений, электронные медицинские карты пациентов, данные медицинских исследований в цифровой форме, данные мониторинга состояния пациента с медицинских приборов, средства общения между сотрудниками, финансовая и административная информация. К первой десятке по количеству проектов в 2021 году отнесены следующие компании: «Комплексные медицинские информационные системы — К-МИС», «БАРС Групп», «1С:Первый БИТ», «Нетрика», «Мастер Лаб», «СП.АРМ», «Корус Консалтинг», «СофтТраст», «ТехЛАБ» и «ХОСТ ГК»²⁴ (рис. 4).

Проекты МИС интегрируются в работу медицинских организаций с целью сокращения времени на заполнение медицинской документации и увеличения его для непосредственной работы с пациентами; упрощения ведения текущей и выписной документации; оптимизации взаимодействия между сотрудниками медицинской организации как внутри, а так между центрами.

Большинство ИТ-технологий применяется в высокотехнологичной медицинской помощи. Это одно из самых дорогостоящих направлений системы здравоохранения, которое непрерывно развивается и поддерживается государством нашей страны. В Программе государственных гарантий бесплатного оказания гражданам медицинской помощи на 2022 год и на плановый период 2023 и 2024 годов предусмотрено финансовое обеспечение на оказание специализированной, в том числе высокотехнологичной медицинской помощи, а Федеральным фондом обязательного медицинского страхования на 2022 год, по сравнению с 2021 годом, на 30% увеличиваются затраты на оказание высокотехнологичной медицинской помощи вне базовой программы ОМС (ВМП-II) до 141,3 млрд рублей²⁵ [4].

В 2022 году обновлён перечень высокотехнологичной медицинской помощи. В него добавлено пять новых групп, которые содержат новые виды медицинской помощи по профилям «неврология», «онкология»; две новые группы онкологических видов медпомощи: «лечение острого лейкоза с использованием биотехнологических методов у детей» со средним тарифом 2,97 млн рублей и «тотальное облучение тела, тотальное лимфоидное облучение тела, тотальное облучение костного мозга у детей» стоимостью 584 тыс. рублей за один случай лечения. В профиле

²⁴ Медицинские информационные системы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.tadviser.ru/index.php/Медицинская_информационная_система?cache=no&ptype=system#ttop. Дата обращения: 31.08.2022.

²⁵ В 2022 году финансирование высокотехнологичной медпомощи вырастет на 31,6 млрд рублей. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vademec.ru/news/2021/09/03/v-2022-godu-finansirovanie-vysokotekhnologichnoy-medpomoshchi-vyrastet-na-31-6-mlrd-rublej/>. Дата обращения: 31.08.2022.

«неврология» будет добавлена «установка интенсивной помпы для постоянной инфузии геля после предварительной назоеональной титрации» (431,7 тыс. рублей); в сердечно-сосудистой хирургии — новый метод «гибридные операции при многоуровневом поражении магистральных артерий и артерий нижних конечностей у больных сахарным диабетом» с ценником 655 тыс. рублей. Уже присутствующий в перечне вид помощи «протонная лучевая терапия» погрузили в новую группу и распространили на больных нейрохирургического профиля для лечения неоперабельной доброкачественной опухоли, расположенной в области основания черепа^{26, 27}.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время в полной мере трудно оценить истинный вклад информационных технологий во все процессы, происходящие в мире. Исключение ниши ИТ значительно усложнит экономические, медицинские, военные, бытовые и другие процессы, возвращая уровень развития страны на десятки лет назад. Для того чтобы этого не допустить, необходимо развивать собственные технологические базы и производства полного цикла, разрабатывать и применять в повседневной деятельности программное обеспечение с аналогичным функционалом. Медицинское программное обеспечение следует интегрировать в единое информационное пространство, что позволит реализовать глобальные функции по обработке больших данных с получением значимых результатов для прогнозирования развития кадровых, фармацевтических, мощностных возможностей медицинских организаций.

На сегодняшний день в Российской Федерации существует большое количество ИТ-компаний, часть которых

делают упор на развитие в сфере медицинских технологий. Имеются также технические разработки, которые могут быть востребованы не только в нашей, но и в других странах мира. Сложившаяся ситуация дополнительно свидетельствует о необходимости государственной поддержки ИТ-сферы для возможности разработки уникальных и перспективных программных и технологичных продуктов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. И.В. Борисов, В.А. Бондарь, Д.А. Кудинов — поисково-аналитическая работа, обработка и обсуждение результатов исследования, написание текста статьи; Ю.Ю. Некрасова, М.М. Канарский, П. Прадхан — обсуждение результатов исследования; В.С. Сорокина, И.В. Редкин — поисково-аналитическая работа; А.В. Гречко, М.В. Петрова — руководство и обсуждение результатов исследования. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. I.V. Borisov, V.A. Bondar, D.A. Kudinov — search and analytical work, processing and discussion of research results, writing a manuscript; Iu.Yu. Nekrasova, M.M. Kanarskii, P. Pradhan — discussion of research results; V.S. Sorokina, I.V. Redkin — search and analytical work; A.V. Grechko, M.V. Petrova — guidance and discussion of the results of the study. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

²⁶ В 2022 году появятся четыре новых вида ВМП вне базовой программы ОМС. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vademec.ru/news/2021/09/08/v-2022-godu-poyavyatsya-chetyre-novykh-vidov-vmv-vne-bazovoy-programmy-oms/>. Дата обращения: 31.08.2022.

²⁷ «Непонятная сущность»: зачем россиянам закон об отношениях с роботами. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vm.ru/technology/934832-neponyatnaya-sushnost-zachem-rossiyanam-zakon-ob-otnosheniyah-s-robotami>. Дата обращения: 31.08.2022.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 N 1632-р «Об утверждении программы “Цифровая экономика Российской Федерации”». Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_221756/f62ee45faefd8e2a11d6d88941a66824f848bc2/. Дата обращения: 31.08.2022.
2. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 24 апреля 2018 г. N 186 «Об утверждении Концепции предиктивной, превентивной и персонализированной медицины». Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71847662/>. Дата обращения: 31.08.2022.
3. Цифровое здравоохранение // Врач и информационные технологии. Специальный выпуск № 1. Труды XXI Международного конгресса «Информационные технологии в медицине», 15–16 октября 2020 г. Режим доступа: https://www.idmz.ru/media/vit_ru_private_pdf/2020/s1/2020_s1_hi_res.pdf. Дата обращения: 31.08.2022.
4. Постановление Правительства РФ от 28 декабря 2021 г. N 2505 «О Программе государственных гарантий бесплатного оказания гражданам медицинской помощи на 2022 год и на плановый период 2023 и 2024 годов». Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/de3NXmFdnBk5LLok0KHjVaKd7aw67UL.pdf>. Дата обращения: 31.08.2022.

REFERENCES

1. Order of the Government of the Russian Federation dated 28.07.2017 N 1632-r «On approval of the program «Digital Economy of the Russian Federation». (In Russ). Available from: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_221756/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/. Accessed: 31.08.2022.
2. Order of the Ministry of Health of the Russian Federation No. 186 dated April 24, 2018 "On approval of the Concept of predictive, preventive and personalized medicine". (In Russ). Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71847662/>. Accessed: 31.08.2022.
3. Digital healthcare. In: Doctor and information technologies. Special Issue No 1. Proceedings of the XXI International Congress "Information Technologies in Medicine", October 15-16, 2020. (In Russ). Available from: https://www.idmz.ru/media/vit_ru_private_pdf/2020/s1/2020_s1_hi_res.pdf. Accessed: 31.08.2022.
4. Decree of the Government of the Russian Federation No. 2505 of December 28, 2021 "On the Program of State Guarantees of Free Medical Care to Citizens for 2022 and for the Planned Period of 2023 and 2024". (In Russ). Available from: <http://static.government.ru/media/files/de3N XxmFdnBk5LLok0KHjVaKd7aw67UL.pdf>. Accessed: 31.08.2022.

ОБ АВТОРАХ

* Борисов Илья Владимирович;

адрес: Россия, 141534, Московская область, Солнечногорский район, д. Лыткино, д. 777, корп. 1; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5707-118X>; eLibrary SPIN: 7800-6446; e-mail: realzel@gmail.com

Бондарь Валерия Александровна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3244-463X>; eLibrary SPIN: 6780-1309; e-mail: bondva23@gmail.com

Кудинов Дмитрий Алексеевич;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2341-7226>; eLibrary SPIN: 4949-7926; e-mail: kudinov-da@ya.ru

Некрасова Юлия Юрьевна, к.т.н.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4435-8501>; eLibrary SPIN: 8947-4230; e-mail: nekrasova84@yandex.ru

Канарский Михаил Михайлович;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7635-1048>; eLibrary SPIN: 1776-1160; e-mail: kanarmm@yandex.ru

Прадхан Пранил;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3505-7504>; eLibrary SPIN: 8647-4329; e-mail: pranilpr@yandex.ru

Сорокина Виктория Сергеевна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1490-1331>; eLibrary SPIN: 3407-1625; e-mail: vsorokina@fnkcr.ru

Редкин Иван Валерьевич, к.м.н.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7008-2038>; eLibrary SPIN: 1854-9314; e-mail: iredkin@fnkcr.ru

Гречко Андрей Вячеславович, д.м.н., профессор, чл.-корр. РАН;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3318-796X>; eLibrary SPIN: 4865-8723; e-mail: avgrechko@fnkcr.ru

Петрова Марина Владимировна, д.м.н., профессор;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4272-0957>; eLibrary SPIN: 9132-4190; e-mail: mail@petrovamv.ru

AUTHORS' INFO

* Ilya V. Borisov;

address: 777, Build. 1, Lytkino, Moscow region, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5707-118X>; eLibrary SPIN: 7800-6446; e-mail: realzel@gmail.com

Valeriya A. Bondar;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3244-463X>; eLibrary SPIN: 6780-1309; e-mail: bondva23@gmail.com

Dmitriy A. Kudinov;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2341-7226>; eLibrary SPIN: 4949-7926; e-mail: kudinov-da@ya.ru

Iuliia Yu. Nekrasova, Cand. Sci. (Tech);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4435-8501>; eLibrary SPIN: 8947-4230; e-mail: nekrasova84@yandex.ru

Mikhail M. Kanarskii;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7635-1048>; eLibrary SPIN: 1776-1160; e-mail: kanarmm@yandex.ru

Pranil Pradhan;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3505-7504>; eLibrary SPIN: 8647-4329; e-mail: pranilpr@yandex.ru

Viktoriya S. Sorokina;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1490-1331>; eLibrary SPIN: 3407-1625; e-mail: vsorokina@fnkcr.ru

Ivan V. Redkin, MD, Cand. Sci. (Med.);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7008-2038>; eLibrary SPIN: 1854-9314; e-mail: iredkin@fnkcr.ru

Andrey V. Grechko, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3318-796X>; eLibrary SPIN: 4865-8723; e-mail: avgrechko@fnkcr.ru

Marina V. Petrova, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4272-0957>; eLibrary SPIN: 9132-4190; e-mail: mail@petrovamv.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author