

ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МЕДИЦИНЕ И ЗДРАВООХРАНЕНИИ: ПОЗИЦИИ РОССИИ НА ГЛОБАЛЬНОМ ПАТЕНТНОМ И ПУБЛИКАЦИОННОМ ЛАНДШАФТЕ

Куракова Н.Г., д.б.н., Цветкова Л.А, к.б.н.,

УДК 614.2:004.89

Аннотация. Представлен обзор мер государственной политики, направленных на развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ) в мире и в России. С целью оценить конкурентоспособность отечественных разработок, созданных для использования технологий ИИ в медицине и здравоохранении, выполнен наукометрический и патентный анализ направления за период 2010-2019 гг. На основе анализа фронтов исследований по методологии Essential science indicators выявлены наиболее перспективные на сегодняшний день исследовательские стратегии. Показано, что на глобальном публикационном ландшафте, Россия занимает 27-ую позицию в мире по числу публикаций, посвященных применению ИИ в здравоохранении: на долю российских исследователей приходится менее 1% публикаций, проиндексированных в Web of science. Для вхождения в топ 5 стран по публикационной активности в этом тематическом кластере России необходимо увеличить число публикаций более, чем в 6 раз. Из 16 компаний, аффилиации которых указаны в публикациях с участие российских авторов, 13 являются зарубежными. В целом, только 14% публикаций в тематической категории «Computer science, artificial intelligence», выполненные в коллаборации с индустриальным сектором.

На ландшафте, сформированном патентными документами, защищающими технические решения в области ИИ в медицине, Россия занимает позиции, не подтверждающие ее намерения вступить в борьбу за перспективные рынки товаров и услуг, созданных на базе этих технологий. В области разработок ИИ медицинского назначения число патентов РФ, выданных нерезидентам страны, существенно превосходит число отечественных правообладателей. Обнаружены всего 12 патентов российских разработчиков технологий ИИ для здравоохранения, выданные зарубежными патентными ведомствами.

Ключевые слова: искусственный интеллект, здравоохранение, медицина, публикационная активность, патентная активность, фронты исследований, меры государственной политики.

© РАНХуГС <https://www.ranepa.ru/eng/about-academy-ranepa/at-a-glance/>

UDC УДК 614.2:004.89

Kurakova N.G., Tsetkova L.A. *Artificial intelligence technologies in medicine and healthcare: Russia's position on the global patent and publication landscape* (Center for Scientific and Technical Expertise of The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia)

Abstract. An overview of public policy measures aimed at the development of artificial intelligence (AI) technologies in the world and in Russia is presented. In order to evaluate the

competitiveness of domestic developments created for the use of AI technologies in medicine and healthcare, a scientometric and patent analysis of the direction for the period 2010-2019 was performed. Based on the analysis of research fronts using the Essential science indicators methodology, the most promising research strategies have been identified. It is shown that on the global publishing landscape, Russia occupies the 27th position in the world by the number of publications devoted to the use of AI in healthcare: Russian researchers account for less than 1% of publications indexed in the Web of science. To enter the top 5 countries in terms of publication activity in this thematic cluster, Russia needs to increase the number of publications by more than 6 times. Of the 16 companies in whose publications the participation of Russian authors are indicated, 13 are foreign. In General, only 14% of publications in the thematic category "Computer science, artificial intelligence" were made in collaboration with the industrial sector.

In the landscape formed by patent documents that protect technical solutions in the field of AI in medicine, Russia takes positions that do not confirm its intention to fight for promising markets for goods and services created on the basis of these technologies. In the field of medical AI developments, the number of Russian patents issued to non-residents of the country significantly exceeds the number of holders of domestic patents. Only 12 patents of Russian developers on AI technologies for healthcare issued by foreign patent offices were found.

Keywords: *artificial intelligence, healthcare, medicine, publication activity, patent activity, research fronts, public policy measures.*

Прорыв в развитии технологий искусственного интеллекта (ИИ, англ. – artificial intelligence, AI), зафиксированный в середине 2010-х гг., обусловлен, прежде всего, значительным прогрессом в производительности алгоритмов обработки информации вследствие развития технологий глубокого обучения. Динамичному развитию направления также способствовал лавинообразный рост данных самых разных типов (изображений, текста, картографических данных и др.) и появление технологий, обеспечивающих почти неограниченные возможности для хранения и доступа к таким данным [1,2].

В сфере здравоохранения технологии ИИ позволяют извлечь полезные закономерности из астрономического по объему и слабоструктурированного входного потока медицинских данных [3,4]. Эксперты подчеркивают высокий потенциал ИИ для повышения диагностической и терапевтической точности и общего клинического процесса лечения [2,5,6,7,8]. Благодаря сложным алгоритмам и способности к глубокому обучению приложения ИИ помогают врачам и медицинским специалистам в таких областях, как геокодирование медицинских данных, эпидемический и синдромный надзор, прогнозное моделирование и поддержка принятия решений, медицинская визуализация [9,10,11].

Поскольку ИИ стремительно трансформирует медицинский ландшафт, в последние годы значительно возросла исследовательская активность в этой области. Среди исследовательских организаций, развернувших активные работы в области ИИ, эксперты

выделяют, прежде всего, Массачусетский технологический институт, Стэнфордский университет и университет Карнеги-Меллон в США, Кембриджский университет в Великобритании и Университет Цинхуа в Китае [2]. Также отмечена возрастающая роль исследовательских институтов, поддерживаемых коммерческими организациями, таких как Nokia Bell Labs (ранее Bell Laboratories), Xerox PARC, Microsoft Research, Facebook Building X [12].

Компания Microsoft 30 января 2020 г объявила о начале пятилетней программы AI for Health, в рамках которой она инвестирует в технологии ИИ для сектора здравоохранения \$40 млн.[13]. Среди ключевых инициатив AI for Health – поиск открытий и ускорение медицинских исследований в целях повышения эффективности профилактики, диагностики и лечения заболеваний.

В конце января 2020 г. компания Bayer сообщила о сотрудничестве с компанией Exscientia, которая занимается разработкой лекарственных средств с использованием ИИ. В рамках этого партнерства немецкий гигант планирует внедрение решений Exscientia для поиска соединений, которые потенциально могут стать лекарствами для терапии сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний. Exscientia планирует привлечь 266 млн долл. (240 млн евро) в виде авансовых платежей для проведения НИОКР и краткосрочных клинических этапов [14].

Уверенность бизнеса в перспективности технологий ИИ подтверждает и тот факт, что такие гиганты IT-индустрии, как Apple, Google, Facebook рекрутируют специалистов (а иногда и целые коллективы), занимающиеся глубокими нейросетями. Так, например, Uber рекрутировал почти весь персонал факультета компьютерного зрения университета Карнеги-Меллона, к большому неудовольствию последнего [2,15].

Интерес компаний реального сектора экономики к данному направлению связан с огромным потенциалом рынка. По прогнозу экспертов аналитической компании SV Insights, уже к 2021 г. рынок медицинских технологий ИИ достигнет 6,6 млрд долл. с ежегодным ростом на 40% [16]. По мнению аналитиков International Data Corporation (IDC), опубликовавших свой прогноз 9 апреля 2020 г., на фоне того, как такие отрасли, как транспорт и потребительские услуги, вынуждены будут снизить свои инвестиции в технологии в условиях вызванного пандемией экономического кризиса, рост расходов на развитие технологий ИИ в мире, напротив, примет взрывной характер [17].

Осознавая перспективность направления и стремительный рост глобального рынка высокотехнологичных продуктов и услуг, основанных на технологиях ИИ, многие страны осуществляют значительные инвестиции в эту область.. В национальных

стратегиях развития ИИ США (февраль 2019 г.), Китая (2017 г.), Евросоюза (2018 г.) обозначена цель -занять и удерживать лидирующие позиции в области ИИ [2].

Стратегия развития технологий ИИ в США

Национальные институты здравоохранения США сформулировали назначение технологий ИИ в рамках своего стратегического плана, а Департамент здравоохранения и социальных услуг совместно с Фондом Роберта Вуда Джонсона заказал доклад о формировании образа будущего общественного здравоохранения и системы оказания медицинской помощи в эпоху ИИ [18,19]. В 2018 г. DARPA получило на реализацию программы “AI Next” 2 млрд долл., а Национальный совет по науке и технологиям (National Science and Technology Council) учредил специальный комитет по ИИ Select Committee on Artificial Intelligence, которому поручено координировать федеральные усилия, направленные на расширение исследований в области ИИ [20]. В феврале 2019 г. Д.Трамп издал указ № 13859 "Maintaining American Leadership in Artificial Intelligence", направленный на сохранение лидерства США в области ИИ, и поручил Комитету по ИИ подготовить план реализации всех национальных проектов в этой сфере [21]. В этом плане, опубликованном в июне 2019 г., излагается национальная правительственная стратегия НИОКР в области ИИ, которая включает в себя семь приоритетных областей для руководства межведомственным сотрудничеством, программами образования и профессиональной подготовки, а также программами направленного финансирования [22].

Стратегия развития технологий ИИ в Китае

Китай все активнее демонстрирует амбиции и ресурсы для захвата лидерства на формируемых технологиями ИИ рынках. В 2017 г. китайские разработчики подали больше патентных заявок на изобретения в области ИИ, чем любая другая страна [23]. По данным аналитиков CBInsights [24], инвестиции Китая в 2018 г. составили 48% от общемирового объема финансирования в исследования в области ИИ, что превзошло вклад других стран в эту область. К аналогичным выводам пришли аналитики Бостонской Консалтинговой группы, отметив, что до 85% китайских компаний либо уже внедрили технологии ИИ, либо осуществляют для этого пилотные инициативы. Для сравнения, доля таких компаний в США, Франции, Германии и Швейцарии составила 50%, а в Австрии и Японии - 40% [25].

По мнению экспертов, Китай обладает рядом преимуществ, которые делают его лидерство в области ИИ более вероятным. Прежде всего, правительство, преследуя заявленную цель достижения мирового лидерства в этой области к 2030 г., активно поддерживает усилия компаний по внедрению технологий ИИ [26]. Кроме того, в Китае

насчитывается, по меньшей мере, 700 млн пользователей смартфонов, подключенных к интернету [27]. Наконец, китайские законы о конфиденциальности в здравоохранении являются более мягкими, чем, например, в Соединенных Штатах [28].

Стратегия развития технологий ИИ в Европейском Союзе

В последнее десятилетие надежную экосистему для развития технологий ИИ создала Европа, поставив ее в один ряд с США и Китаем. При равном балансе корпоративных организаций, связанных и не связанных с НИОКР, этот регион уступает Соединенным Штатам по количеству игроков в данной области [29]. Однако, в отличие от США и Китая, где развитие отрасли стимулировало государственное финансирование, развитие ИИ в Европе обусловлено ускорением инвестиций со стороны частного капитала и венчурных компаний [30]. Однако в последнее время наблюдается всплеск внимания и инвестиций в ИИ и со стороны государства [30]. Несколько стран, а именно Германия и Франция, разработали национальные стратегии развития ИИ, хотя каждая из них отличается по мотивации и подходу. Так, выделяя 3 млрд евро на исследования и разработки в области ИИ, Германия стремится расширить интеграцию данных технологий в бизнес-процессы. Для сравнения, французский план фокусируется на потенциале ИИ для обороны и безопасности, транспорта и здравоохранения [31]. Европейский Союз видит свое преимущество в продвижении повестки в области ИИ через координацию между государствами-членами ЕС. В апреле 2018 г. двадцать пять стран ЕС обязались совместно работать над повышением технологического и промышленного потенциала Европы в области ИИ, одновременно решая социально-экономические проблемы и обеспечивая адекватную правовую и этическую основу развития этого кластера технологий [32]. В апреле 2019 г. Европейский Союз выпустил Руководство для разработки надежных решений ИИ, которые могли бы предсказуемо сформировать регулирование ИИ в ЕС и за рубежом [33].

Стратегия развития технологий ИИ в Великобритании

Европейским лидером в области ИИ является Великобритания. Посеянные Тьюрингом [34] в 1950-х годах семена лидерства страны в этой области, активно прорастали в виде значительного числа стартапов [35,36]. Правительство Великобритании только сравнительно недавно занялось увеличением объемов государственной финансовой поддержки и запуском нескольких инициатив в области ИИ, направленных на подготовку к долговременным закупкам технологий ИИ. Основываясь на результатах этих инициатив, Великобритания в 2018 г. представила свой AI Sector Deal – широкий отраслевой план стимулирования инноваций, создания цифровой инфраструктуры и

развития компетентности персонала в области науки о данных, инженерии и математики [37].

Стратегия развития технологий ИИ в России

Осознавая огромный ресурс ИИ для экономического роста, Россия тоже вступила в гонку за лидерство в этой области. Развитие технологий ИИ предусмотрено принятой в 2017 г. Программой "Цифровая экономика Российской Федерации" [38] и национальным проектом «Цифровая экономика», реализация которого начата в 2018 г. В том же 2018 г. был создан Центр компетенций Национальной технологической инициативы (НТИ) по направлению «Искусственный интеллект» на базе МФТИ, деятельность которого направлена на комплексное развитие инновационных продуктов и решений в сфере ИИ – одной из сквозных технологий, включенных в национальную программу "Цифровая экономика" [39].

В 2019 г. в Послании Федеральному Собранию Президент РФ поставил цель "запустить масштабную программу национального уровня в области ИИ" [40]. В рамках нацпроекта "Цифровая экономика» был спроектирован федеральный проект «Искусственный интеллект» с бюджетом 124,8 млрд руб. до 2024 года — один из крупнейших в нацпроекте «Цифровой экономике». Однако в связи с ситуацией, вызванной пандемией коронавируса, Минэкономики России готовит предложения по оптимизации бюджета этого федерального проекта. В частности, по мнению экспертов, в условиях пандемии в качестве приоритетного стоит рассматривать медицинское направление с преференциями в сторону производителей, а также упростить доступ к обезличенным медицинским данным лечебных учреждений, чтобы участники рынка могли делиться алгоритмами друг с другом [41].

Указом Президента РФ от 10 октября 2019 г. «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» утверждена Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года (далее – Стратегия) [42]. Среди приоритетных направлений в ней выделено «повышение качества услуг в сфере здравоохранения, включая профилактические обследования, диагностику, основанную на анализе изображений, прогнозирование возникновения и развития заболеваний, подбор оптимальных дозировок лекарственных препаратов, сокращение угроз пандемий, автоматизацию и точность хирургических вмешательств».

Для координации деятельности бизнес-сообщества и научных организаций по реализации Стратегии в ноябре 2019 г. в России был создан межотраслевой Альянс по развитию ИИ (AI-Russia Alliance), в который вошли ПАО «Сбербанк», ПАО «Газпромнефть», компании Яндекс, Mail.ru Group, МТС и Российский фонд прямых

инвестиций [43]. Альянс представляет собой частно-государственное партнерство, курировать которое будет Минэкономразвития России, ведущее деятельность в трех направлениях: создание единых принципов и методик работы с данными, помощь с разработкой регулировок в данной сфере, поддержка образовательных проектов и формирование кадрового резерва. Ожидается, что создание альянса позволит сформировать в России необходимую инфраструктуру для быстрого развития технологий на базе ИИ.

В рамках национального проекта «Наука» в Московской области планируется открыть первый в России Научно-образовательный центр «Искусственный интеллект» (НОЦ «Искусственный интеллект») [44]. Ключевыми участниками НОЦ «Искусственный интеллект» станут МФТИ, Объединенный институт ядерных исследований (Дубна) и Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского (МОНКИ). Среди бизнес-партнеров НОЦ – компании Яндекс, ОАО «РЖД», «Росатом», «Биокад», холдинг «Вертолеты России», Россети, Ростелеком, Росгеология, Газпромнефть, НОВАТЭК, ЦАГИ и др.

Целью создания НОЦ «Искусственный интеллект» является внесение значительного вклада в создание услуг и продуктов на базе технологий ИИ мирового уровня. В его задачи входит переориентация НИОКР на продукты для рынков НТИ; создание устойчивой экосистемы трансфера технологий; подготовка кадров мирового уровня по направлению «Искусственный интеллект» в режиме непрерывного образования. Перспективные проекты НОЦ, ориентированные на рынки НТИ, призваны обеспечить значительный доход участникам консорциума к 2024 г. Например, ожидаемая доходность от внедрения технологий для обеспечения взаимодействия машин с внешней средой, ориентированных на рынок «Нейронет», составляет 3,5 млрд долл. Системы поддержки принятия решений и управления, востребованные на рынках «Нейронет», «Технет», «Хелснет», «Энерджинет», «Аэронет», «Автонет», оцениваются в 26 млрд долл.

Цель настоящего исследования – на основе данных многокритериального наукометрического и патентного анализа определить основные тренды развития технологий ИИ в медицине и в здравоохранении в мире и оценить конкурентоспособность научно-технологических заделов России в этой исследовательской области.

Отечественные технологии ИИ для медицины и здравоохранения: библиометрический анализ

Анализ публикационной активности по выделенному кластеру технологий проводился с использованием БД Web of Science Core Collection (WoS CC) и ее аналитических приложений Essential science indicators (ESI) и InCites.

Анализ фронтов исследований

В качестве инструмента для идентификации мейстримов применения ИИ в медицине была использована БД Essential science indicators (ESI), которая позволяет выделить приоритетные научные направления, вызывающие наибольший интерес мирового исследовательского сообщества на текущий момент – так называемые, фронты исследований (Research Fronts). ESI анализирует высокоцитируемый сегмент публикационного потока WoS CC (Highly Cited Papers) и публикации горячего цитирования (Hot Papers). Публикации, отнесенные ESI к числу высокоцитируемых (Highly Cited Papers), представляют собой 1% от общего числа публикаций, изданных за период, включающий последние 10 лет и текущий интервал актуального года, и получавших устойчивое цитирование выше среднего мирового уровня в данной предметной области на указанном временном промежутке. Стабильно высокий уровень цитируемости статей из категории Highly Cited Papers, с точки зрения разработчиков ESI, дает возможность определить эти публикации в качестве эталона исследовательской деятельности.

Публикации горячего цитирования (Hot Papers) представляют собой статьи с максимально высокой цитируемостью, опубликованные в течение последних двух лет, которые получили аномально высокое число ссылок за два последних месяца. В среднем, число статей с максимальным цитированием не превышает 0,1% от общего числа всех цитируемых в ESI публикаций.

Фронт исследований ESI – это группа высокоцитируемых публикаций (Highly Cited Papers), которая вычленяется методом кластерного анализа и объединяется по тематическому признаку на основе ко-цитирования. В исследовательский фронт попадают статьи, которые сами получали высокое цитирование и для которых одновременно был отмечен высокий уровень взаимного цитирования [45].

Выполненный анализ фронтов исследований, выделенных ESI, показал, что в мировом профессиональном сообществе идёт активное накопление идей, результатов экспериментов, поиск наиболее эффективных подходов, связанных с использованием ИИ в медицине, нашедших отражение в 25 фронтах исследований, сформированных в данной области (таблица 1). Представленные в таблице 1 данные позволили нам выделить несколько наиболее актуальных в мировом исследовательском сообществе быстрорастущих научных тематик в рамках научного направления ИИ в медицине.

Таблица 1 – Фронты исследований, связанные с использованием технологий ИИ в медицине

Фронты исследований	
1.	DEEP GENERATIVE ADVERSARIAL NEURAL NETWORKS; DEEP CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK; DEEP DE-ALIASING GENERATIVE ADVERSARIAL NETWORKS;

	RESIDUAL ENCODER-DECODER CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK; CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK
2.	DEEP CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS; MULTIMODAL BRAIN TUMOR IMAGE SEGMENTATION BENCHMARK (BRATS); DEEP 3D CONVOLUTIONAL ENCODER NETWORKS; 3D CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS; BRAIN TUMOR SEGMENTATION
3.	EDGE COGNITIVE COMPUTING BASED SMART HEALTHCARE SYSTEM; EDGE COGNITIVE COMPUTING; MOBILE EDGE COMPUTING; COGNITIVE COMPUTING; EDGE NETWORK
4.	HEAD-TO-HEAD DERMOSCOPIC MELANOMA IMAGE CLASSIFICATION TASK; CLINICAL MELANOMA IMAGE CLASSIFICATION TASK; DEEP LEARNING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK; CLINICAL IMAGES SURPASSES BOARD-CERTIFIED DERMATOLOGISTS; MELANOMA CLASSIFICATION BENCHMARK
5.	SECURING BLOCKCHAIN BASED SYSTEM; IOT BASED REAL TIME TRAFFIC CONTROL; HASH BASED ENCRYPTION; AUTOMATED REMOTE CLOUD-BASED HEART RATE VARIABILITY MONITORING SYSTEM; SECURE MEDICAL DATA TRANSMISSION MODEL
6.	HYPERPLASTIC DIMINUTIVE COLORECTAL POLYPS; CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK; DIMINUTIVE COLORECTAL POLYPS; CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS; DIMINUTIVE POLYPS
7.	DEEP CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK METHOD; DEEP CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK; DEEP CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS; DEEP LEARNING MR IMAGING-BASED ATTENUATION CORRECTION; MAGNETIC RESONANCE IMAGING-ONLY RADIATION THERAPY
8.	SPINAL CORD EXCITABILITY ENABLES VOLUNTARY MOVEMENTS; HUMAN BRAIN-MACHINE INTERFACE; SPINAL CORD INJURY; BRAIN-SPINE INTERFACE ALLEVIATING GAIT DEFICITS; TEN-DIMENSIONAL ANTHROPOMORPHIC ARM CONTROL
9.	QUANTITATIVE IMAGING BIOMARKERS TERMINOLOGY; QUANTITATIVE IMAGING BIOMARKERS; STATISTICAL METHODS; COMPUTER ALGORITHM COMPARISONS; TECHNICAL PERFORMANCE ASSESSMENT
10.	13-LAYER DEEP CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK; CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK; IMAGE BASED FRUIT CATEGORY CLASSIFICATION; ALCOHOLISM BASED; DATA AUGMENTATION
11.	ELECTRONIC HEALTH RECORDS; ELECTRONIC HEALTH RECORD (EHR) ANALYSIS; ADVANCE PUBLIC HEALTH; PUBLIC HEALTH SURVEILLANCE; DEEP LEARNING TECHNIQUES
12.	REMAINING USEFUL LIFE PREDICTION; REMAINING USEFUL LIFE ESTIMATION; RECURRENT NEURAL NETWORK BASED HEALTH INDICATOR; MACHINERY HEALTH PROGNOSTICS; DEEP CONVOLUTION NEURAL NETWORKS
13.	ROBUST ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEM BASED; BLAST-INDUCED PEAK PARTICLE VELOCITY; BLAST-INDUCED AIR OVERPRESSURE; ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS; NEW PHENOLIC ACID
14.	MAMMOGRAPHIC BREAST DENSITY ASSESSMENT; BREAST CANCER; ARTIFICIAL INTELLIGENCE SUPPORT SYSTEM; DEEP LEARNING; CLINICAL IMPLEMENTATION
15.	ARTIFICIAL INTELLIGENCE; PRECISION CARDIOVASCULAR MEDICINE; CARDIOLOGY
16.	DEEP CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS; CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS; MEDICAL IMAGE ANALYSIS; CNN ARCHITECTURES; COMPUTER-AIDED DETECTION
17.	DEEP LEARNING; CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK; DYNAMIC CONTRAST-ENHANCED CT; CHEST COMPUTED TOMOGRAPHY; DISEASE STAGING
18.	DEEP LEARNING BASED AUTOMATIC CONTOURING; NECK CT IMAGES; CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS; LUNG CANCER; CLINICAL EVALUATION
19.	DEEP-LEARNING NEURAL NETWORK MODEL; CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS; PEDIATRIC HAND RADIOGRAPHS; ASSESSING SKELETAL MATURITY; AUTOMATED CLASSIFICATION

20.	MEDICAL IMAGE ANALYSIS; DEEP LEARNING; SURVEY
21.	MULTI-MODALITY IMAGE FUSION METHOD BASED; MEDICAL IMAGE FUSION; IMAGE DECOMPOSITION; PARAMETER-ADAPTIVE PULSE COUPLED NEURAL NETWORK; NONSUBSAMPLED SHEARLET TRANSFORM DOMAIN
22.	DEEP LEARNING APPLICATIONS; DEEP LEARNING; APPLICATIONS; DRUG REPURPOSING; PHARMACOLOGICAL PROPERTIES
23.	MACHINE LEARNING ALGORITHMS ESTIMATING PROGNOSIS; MACHINE LEARNING; ADULT CONGENITAL HEART DISEASE; CARDIOVASCULAR DISEASE; SINGLE TERTIARY CENTRE INCLUDING 10019 PATIENTS
24.	SEQUENCE-BASED PREDICTION; SUPPORT VECTOR MACHINE ; PHAGE VIRION PROTEINS; ANTI-INFLAMMATORY PEPTIDES; RANDOM FOREST
25.	HEALTHCARE CYBER-PHYSICAL SYSTEM ASSISTED; PROFESSIONALIZED MEDICAL RECOMMENDATIONS BASED; HYBRID MATRIX FACTORIZATION; BIG DATA; CLOUD

Источник: ESI, данные актуальны на 06.03.2020 г.

Большая часть фронтов посвящена использованию в медицине специальной архитектуры искусственных нейронных сетей, так называемым, свёрточным нейронным сетям. Это – одна из наиболее инновационных технологий компьютерного зрения и распознавания изображений, где применяется метод математического анализа по определению схожести функций, что позволяет снижать ошибки классификаций увиденных изображений. Свёрточным нейронным сетям посвящены 15 из 25 выделенных нами фронтов исследований. Исследования в данной области сфокусированы на использовании глубоких сверточных нейронных сетей для анализа медицинских изображений, среди которых МРТ и КТ изображения, маммограммы и рентгенограммы. В частности, отдельные фронты сформированы кластерами публикаций, описывающих применение данной технологии при диагностике, стадировании и клинической оценке различных онкологических заболеваний: рака легких, рака молочной железы, опухолей мозга, меланом, колоректальных опухолей.

Очень высокое цитирование имеют статьи, посвященные использованию алгоритмов машинного обучения (в том числе, глубоких сверточных нейронных сетей) в кардиологии, а также при создании и поддержке интеллектуальных и киберфизических систем здравоохранения, систем принятия медицинских решений, анализа электронных медицинских карт, разработке безопасных моделей передачи медицинских данных, в частности, на основе блокчейн технологий.

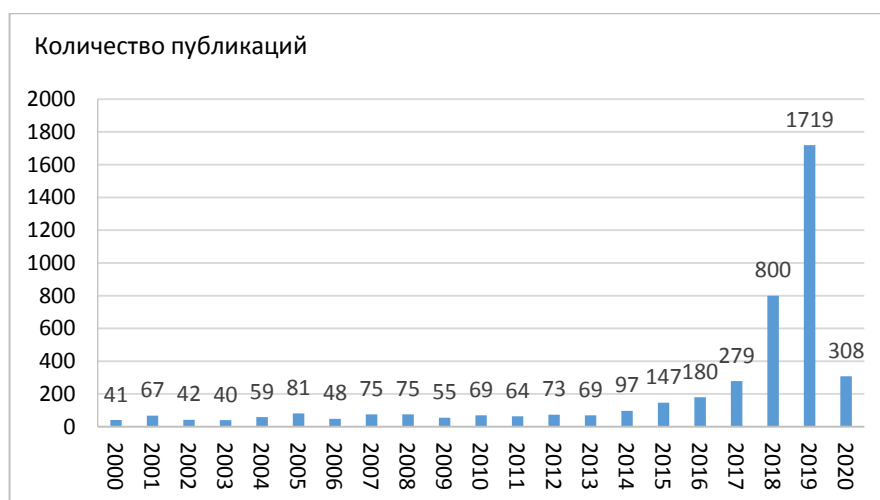
Один из фронтов включает высокоцитируемые публикации, посвященные взаимодействию человеческого мозга и машины для облегчения дефицита движения, возникающего при травмах позвоночника. Три фронта, представленные в таблице 1, посвящены исследованиям в области фармакологии. В публикациях, образовавших эти исследовательские фронты, изучаются возможности использования систем ИИ при создании новых химических соединений, а также для репрофилирования лекарственных средств.

Среди авторов публикаций, сформировавших перечисленные фронты, нам не удалось обнаружить ни одного резидента России, что может свидетельствовать либо о проблемах с выбором стратегий научных исследований (игнорирование мировых трендов в области использования ИИ в медицине), либо о проблемах публикационных стратегий отечественных разработчиков (слабая представленность в интернационализированном публикационном пространстве).

Анализ публикационного потока в тематической категории «ИИ в медицине», проиндексированного в WoS CC

Чтобы оценить позицию России на глобальном публикационном ландшафте, сформированном в WoS CC по направлению «ИИ в медицине», был выбран период с 2000 – 2019 гг. и текущий интервал 2020 г. Данные из WoS CC селектированы с использованием поисковых терминов, используемых в различных областях здравоохранения и медицины по тематическим категориям Web of Science Categories. Поисковый запрос имел следующий вид: TOPIC: ("Artificial intelligen*") REFINED BY: WEB OF SCIENCE CATEGORIES: (NEROSCIENCES OR ONCOLOGY OR OPHTHALMOLOGY OR PHARMACOLOGY PHARMACY OR CARDIAC CARDIOVASCULAR SYSTEMS OR GASTROENTEROLOGY HEPATOLOGY OR CLINICAL NEUROLOGY OR HEALTH CARE SCIENCES SERVICES OR PSYCHIATRY OR PUBLIC ENVIRONMENTAL OCCUPATIONAL HEALTH OR RADIOLOGY NUCLEAR MEDICINE MEDICAL IMAGING OR SURGERY OR ENGINEERING BIOMEDICAL OR MEDICAL INFORMATICS OR MEDICINE GENERAL INTERNAL OR MEDICINE RESEARCH EXPERIMENTAL OR UROLOGY NEPHROLOGY) AND PUBLICATION YEARS: (2020 OR 2008 OR 2019 OR 2007 OR 2018 OR 2006 OR 2017 OR 2005 OR 2016 OR 2004 OR 2015 OR 2003 OR 2014 OR 2002 OR 2013 OR 2001 OR 2012 OR 2000 OR 2011 OR 2010 OR 2009).

Данному поисковому образу соответствовали 4388 публикаций, 68 из которых отнесены к высокоцитируемому сегменту Highly Cited Papers и 7 – к сегменту горячего цитирования Hot Papers. За исследуемый период наблюдается экспоненциальный рост публикационной активности по данному направлению (рисунок 1).



Источник: WOS CC, данные актуальны на 12.03.2020 г.

Рисунок 1 - Динамика публикационной активности в мире по направлению «ИИ в медицине»: 2000-2020 гг. *

Безусловным лидером публикационной активности в исследуемом научном направлении являются США, резиденты которых являются авторами более трети публикаций (35%), проиндексированных WoS CC (таблица 2).

Таблица 2 – Рейтинг стран по публикационной активности по направлению «ИИ в медицине»

Место в рейтинге	Страна	Количество национальных публикаций по направлению в WoS CC	Доля страны в общем числе публикаций по направлению в WoS CC (%)
1	США	1563	35.62 %
2	Великобритания	422	9.62 %
3	КНР	413	9.41 %
4	Германия	285	6.50 %
5	Канада	241	5.50%
6	Япония	237	5.40 %
7	Италия	209	4.76 %
8	Франция	196	4.47 %
9	Испания	160	3.65 %
10	Австралия	146	3.33 %
.....			
27	Россия	38	0.87 %

Источник: WOS CC, данные актуальны на 12.03.2020 г.

Как следует из представленных в таблице 2 данных, Россия занимает скромную 27-ую позицию в мире, на долю российских исследователей приходится менее 1% публикаций, проиндексированных в WoS CC.

Из топ 10 исследовательских организаций мира рейтинга публикационной активности в области «ИИ в медицине» 8 расположены в юрисдикции США: 5 университетов и 3 госпиталя: Harvard University, University Of California System, Stanford

University, University Of Toronto, University Of Texas System, Harvard Medical School, Massachusetts General Hospital, Brigham Women S Hospital (таблица 3).

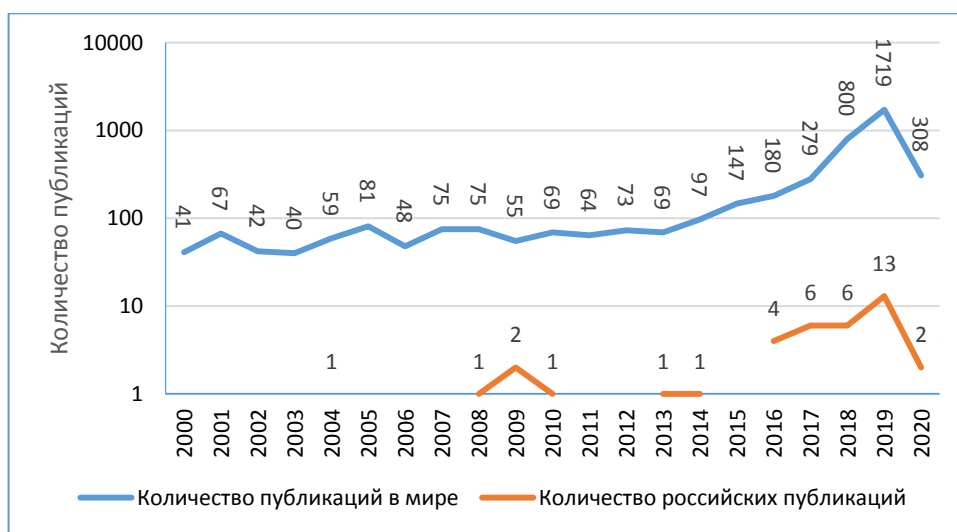
Таблица 3 – Рейтинг организаций по публикационной активности по направлению «ИИ в медицине»

Место в рейтинге	Организация	Количество публикаций по направлению в WoS CC
1	HARVARD UNIVERSITY	203
2	UNIVERSITY OF CALIFORNIA SYSTEM	166
3	HARVARD MEDICAL SCHOOL	116
4	UNIVERSITY OF LONDON	110
5	STANFORD UNIVERSITY	81
6	UNIVERSITY OF TORONTO	79
7	MASSACHUSETTS GENERAL HOSPITAL	78
8	UNIVERSITY OF TEXAS SYSTEM	71
9	BRIGHAM WOMEN S HOSPITAL	65
10	UNIVERSITY COLLEGE LONDON	65

Источник: WOS CC, данные актуальны на 12.03.2020 г.

Актуализированный нами рейтинг стран и организаций-лидеров публикационной активности по направлению «ИИ в медицине», коррелирует с результатами ранее выполненных исследований [1 2].

Публикации отечественных авторов мало заметны на глобальном публикационном ландшафте, созданном БД WoS CC (рисунок 2).



Источник: WOS CC, данные актуальны на 12.03.2020 г.

Рисунок 2 - Динамика публикационной активности по направлению «ИИ в медицине» в мире и в России

Удалось обнаружить всего 38 публикаций российских ученых, посвященных исследованиям применения технологий ИИ в медицине, проиндексированных в WoS CC

¹ Bach Xuan Tran, Giang Thu Vu, Giang Hai Ha, Quan-Hoang Vuong, Manh-Tung Ho, et al. Global Evolution of Research in Artificial Intelligence in Health and Medicine: A Bibliometric Study / J. Clin. Med. 2019, 8(3), 360; <https://doi.org/10.3390/jcm8030360>

² Yu, K.-H.; Beam, A.L.; Kohane, I.S. Artificial intelligence in healthcare. Nat. Biomed. Eng. 2018, 2, 719–731.

за последнее десятилетие, ни одна из которых не относится к высокоцитируемому сегменту Highly Cited Papers. Для того, чтобы войти в топ 5 стран по публикационной активности в данном научном направлении (в соответствии с целевыми показателями национального проекта «Наука»), отечественным исследователям необходимо увеличить число публикаций, индексируемых в WoS CC, более, чем в 6 раз.

Среди 39 российских организаций, сотрудники которых публикуют результаты своих исследований в интернационализированном сегменте, преобладают университеты и академические институты. В сформированную нами выборку вошли всего 3 российские организации реального сектора экономики, аффилиация с которыми указана в отечественных публикациях: АНМО «СКККДЦ» (ANMO SKKKDC); ООО "Комтэк" (COMTEK LLC), АО СОЦМЕД (АО SOCMED) (таблица 4).

Таблица 4 – Отечественные организации, аффилированные с публикациями по теме «ИИ в медицине», проиндексированными в WoS CC: 2010-2020 гг.

Организация	Количество публикаций в WoS CC
Russian Academy Of Sciences (Российская академия наук)	6
Kazan Federal University (Казанский федеральный университет)	4
National Research Nuclear University MEPhI Moscow Engineering Physics Institute (Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», НИЯУ МИФИ)	4
Saint Petersburg State Electrotechnical University (Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический Университет)	3
Innopolis University (Университет Иннополис)	2
National Research University Higher School Of Economics (Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»)	2
Pirogov Russian National Research Medical University (Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова)	2
Sechenov First Moscow State Medical University (Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова)	2
Yaroslavl Reg Canc Hosp (Областная клиническая онкологическая больница). Ярославль)	2
Yuri Gagarin State Technical University Of Saratov (Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.)	2
Bonch Bruevich St Petersburg State Univ Telecommu (Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича)	1
Federal Research Center Computer Science Control Of Ras (Федеральный Научный Центр Информатики Управления РАН)	1
Fsbi Bakulevsky Sci Ctr (ФГБУ Бакулевский Научный Центр)	1
Institute Of Higher Nervous Activity Neurophysiology Of Ras (Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН)	1
Irkutsk National Research Technical University INRTU (Иркутский национальный исследовательский технический университет, ИрНТУ)	1
Jsc Russian Railway (ОАО "Российские железные дороги", ОАО "РЖД")	1
Kabardino Balkarian Scientific Center Of The Russian Academy Of Sciences (Кабардино-балкарский научный центр РАН)	1
KSMU (Казанский Государственный Медицинский Университет)	1

Kuban State University (Кубанский государственный университет)	1
Lobachevsky State University Of Nizhni Novgorod (Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского)	1
Lomonosov Moscow State University (Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова)	1
MAIL RU GRP LTD (ООО Mail.Ru Group)	1
MOSCOW INST PEDIAT CHILD SURG (НИИ педиатрии и детской хирургии)	1
Moscow Institute Of Physics Technology (Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет, МФТИ))	1
National Research Centre Kurchatov Institute (Национальный Исследовательский Центр Курчатовский Институт)	1
Novosibirsk State University (Новосибирский государственный университет)	1
Russian State University For The Humanities (Российский Государственный Гуманитарный Университет)	1
Ryazan State Univ (Рязанский государственный университет)	1
Saratov State Agrarian University (Саратовский государственный аграрный университет)	1
Saratov State University (Саратовский государственный университет)	1
Sobolev Institute Of Mathematics (Институт математики имени С. Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, ИМ СО РАН)	1
St Petersburg Department Of The Steklov Mathematical Institute Of The Russian Academy Of Sciences (Санкт-Петербургское отделение Математического института им. В. А. Стеклова РАН)	1
St Petersburg Scientific Centre Of The Russian Academy Of Sciences (Санкт-Петербургский Научный Центр Российской Академии Наук)	1
Stavropol State Med Univ (Ставропольский государственный медицинский университет)	1
Steklov Mathematical Institute Of The Russian Academy Of Sciences (Математический Институт Им. А. Н. Стеклова РАН)	1
Space Research Institute Of The Russian Academy Of Sciences (Институт космических исследований РАН, ИКИ РАН)	1
ANMO SKKKDC (Автономная некоммерческая медицинская организация Ставропольский краевой клинический консультативно-диагностический центр, АНМО «СКККДЦ»)	1
COMTEK LLC (ООО "КОМТЕК")	1
AO SOCMED (АО "Соцмедика")	1

Источник: WoS CC, данные актуальны на 12.03.2020 г.

С целью оценить степень участия предпринимательского сектора в разработках, связанных с применением ИИ в медицине, был проанализирован перечень всех организаций, аффилиации которых указаны в публикациях с участием российских авторов в исследуемой выборке. Из 16 таких организаций 13 являются зарубежными (таблица 5). Таблица 5 – Организации, аффилиации с которыми указаны в публикациях российских авторов по теме «ИИ в медицине»

Организация	Страна
1. ANMO SKKKDC (Автономная Некоммерческая Медицинская Организация «Ставропольский краевой клинический консультативно-диагностический центр» АНМО «СКККДЦ»)	Россия
2. COMTEK LLC (ООО "Комтэк")	Россия

3. AO SOCMED (AO "Соцмедика")	Россия
3. IUP BELINVESTFARMA	Беларусь
4. ARM HOLDINGS	Япония
5. ASSISTANCE PUBLIQUE HOPITAUX PARIS APHP	Франция
6. BELLVITGE UNIVERSITY HOSPITAL	Испания
7. BIGCHEM GMBH	Австрия
8. CENTRO HOSPITALAR DE LISBOA OCIDENTAL EPE	Португалия
9. HELMHOLTZ CENTER MUNICH GERMAN RESEARCH CENTER FOR ENVIRONMENTAL HEALTH	Германия
10. HELMHOLTZ ASSOCIATION	Германия
11. HOPITAL UNIVERSITAIRE LARIBOISIERE FERNAND WIDAL APHP	Франция
12. HOPITAL UNIVERSITAIRE SAINT LOUIS APHP	Франция
13. ORION PHARMA	Финляндия
14. SIEMENS AG	Германия
15. SPECTRAL EDGE LTD	Великобритания

Источник: WoS CC, данные актуальны на 12.03.2020 г.

Поскольку технологии ИИ преимущественно мультидисциплинарны и могут быть использованы не только в сфере медицины и здравоохранения, был оценен уровень публикационной активности российских организаций в более широко очерченной предметной области компьютерных наук и ИИ. В качестве источника информации о таких организациях было использовано аналитическое приложение к БД WoS CC – InCites.

Поиск в InCites проводился по тематической категории Web of Science Categories «Computer science, artificial intelligence»; интервал исследования определен как 2010-2019 гг.; в качестве страны аффилиации, по крайней мере, одного из авторов статей должна быть указана Россия. Условиям выборки соответствовали 316 российских организаций, опубликовавших результаты своих исследований по направлению «Computer science, artificial intelligence», проиндексированные в WoS CC. Из их числа 21% располагает достаточно обширными портфелями, насчитывающими несколько десятков публикаций. Более, чем у половины российских организаций (56%) по данному направлению опубликовано не более 5 статей, проиндексированных в WoS CC. Среди выявленных 316 организаций всего 14 не относятся к академическому и вузовскому сектору.

В таблице 6 представлены топ 30 российских организаций, обладающих наибольшим числом научных публикаций в области компьютерных наук и ИИ.

Таблица 6 – Топ 30 российских организаций, имеющих наибольшее число публикаций, проиндексированных в WoS СС в тематической категории «Computer science, artificial intelligence»: 2010-2020 гг.

	Организация	Количество публикаций в WoS СС	Количество статей в коллаборации с индустриальным сектором	Доля статей в коллаборации с индустриальным сектором, %
1.	Russian Academy Of Sciences (Российская академия наук)	1370	34	2.5
2.	ITMO University (Университет ИТМО)	496	8	1.6
3.	National Research University - Higher School of Economics (НИУ ВШЭ)	343	10	2.9
4.	Lomonosov Moscow State University (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова)	269	18	6.7
5.	Saint Petersburg State University(Санкт-Петербургский государственный университет)	235	3	1.3
6.	Moscow Institute of Physics & Technology (Московский физико-технический институт)	225	10	4.4
7.	Federal Research Center Computer Science & Control of RAS (Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН)	224	1	0.4
8.	Southern Federal University (Южный федеральный университет)	193	0	0.0
9.	St. Petersburg Institute of Informatics & Automation (Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН)	192	8	4.2
10.	Tomsk State University (Томский государственный университет)	146	0	0.0
11.	National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute) (Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»)	123	2	0.8
12.	Volgograd State Technical University (Волгоградский государственный технический университет)	123	0	0.0
13.	Bauman Moscow State Technical University (Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана)	120	16	13.3
14.	Moscow Aviation Institute (Московский авиационный институт)	119	1	0.8
15.	Kazan Federal University (Казанский федеральный университет)	118	0	0.0
16.	Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)	114	4	3.5
17.	V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences (Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН)	107	1	0.9
18.	Kharkevich Institute for Information Transmission Problems of the RAS (Институт проблем передачи информации им. А.А.Харкевича РАН)	105	5	4.8
19.	Tomsk Polytechnic University (Томский политехнический университет)	102	0	0.0

20.	Skolkovo Institute of Science & Technology (Сколковский институт науки и технологий)	95	4	4.2
21.	Innopolis University (Университет Иннополис)	95	0	0.0
22.	Saint Petersburg State Electrotechnical University (Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина))	91	1	1.1
23.	Ural Federal University (Уральский федеральный университет)	91	0	0.0
24.	Peoples Friendship University of Russia (Российский университет дружбы народов)	81	0	0.0
25.	Samara National Research University (Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева)	81	0	0.0
26.	Moscow Power Engineering Institute (Московский энергетический институт)	73	0	0.0
27.	Dorodnitsyn Computing Centre (Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН)	70	1	1.4
28.	Roscosmos (Роскосмос)	60	36	60.0
29.	Reshetnev Siberian State University of Science & Technology (Сибирский государственный университет науки и технологий им. М. Ф. Решетнёва)	59	0	0.0
30.	Institute Systems Analysis of Russian Academy of Sciences (Институт системного анализа ФИЦ ИУ РАН)	59	0	0.0

Источник: InCites, данные актуальны на 06.03.2020 г.

Аналитическое приложение InCites позволило оценить уровень коллаборации организаций вузовского, академического и индустриального секторов при проведении исследований по доле совместных публикаций (% Industry Collaborations). Анализ результатов поиска в тематической категории «Computer science, artificial intelligence» показал, что из 316 российских организаций только 44 (14%) имеют публикации, выполненные в коллаборации с индустриальным сектором. Наиболее высокий показатель Industry Collaborations отмечен для МГТУ им. Н.З.Баумана (16 совместных с компаниями индустриального сектора публикаций из 120, т.е. 13%), Института прикладной математики имени М.В. Келдыша (7 из 55, 13%), МГУ им. М.В.Ломоносова (18 из 269, 7%). Уровень кооперации остальных исследовательских организаций с предприятиями реального сектора экономики, отраженный в публикациях, следует оценивать как низкий.

В перечне российских организаций, имеющих публикации по направлению «Computer science, artificial intelligence», проиндексированные в WoS CC, обнаружены два из трех ключевых участников НОЦ «Искусственный интеллект»: МФТИ (225 публикаций, как минимум, 1 из которых связана с технологиями использования ИИ в медицине) и Объединенный институт ядерных исследований (8 публикаций) (таблица 7).

Таблица 7 – Количество публикаций участников НОЦ «Искусственный интеллект» в тематических категориях «Компьютерные науки и ИИ» и «ИИ в медицине»: 2010-2019 гг.

Организация	Компьютерные науки и ИИ *	ИИ в медицине **
Moscow Institute of Physics & Technology (Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет, МФТИ))	225	1
Joint Institute for Nuclear Research - Russia (Объединенный институт ядерных исследований)	8	0
Central Aerohydrodynamic Institute (TsAGI) (Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского, ЦАГИ)	4	0
ПАО Газпромнефть	4	0
Russian Railroads (ОАО «РЖД»)	2	1

* Источник: InCites, данные актуальны на 06.03.2020 г.

** Источник: WoS CC, данные актуальны на 06.03.2020 г.

Научно-технологическими заделами, связанными с использованием технологий ИИ, обладают и три индустриальных партнера НОЦ «Искусственный интеллект»: ОАО «РЖД» (2 публикации, 1 из которых связана с технологиями ИИ в медицине), ПАО «Газпромнефть» (4 публикации) и ЦАГИ (4 публикации). Публикаций остальных участников НОЦ (Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского, «Яндекс», «Росатом», «Биокад», «Вертолеты России», «Россети», «Ростелеком», Росгеология, «НОВАТЭК») обнаружить не удалось.

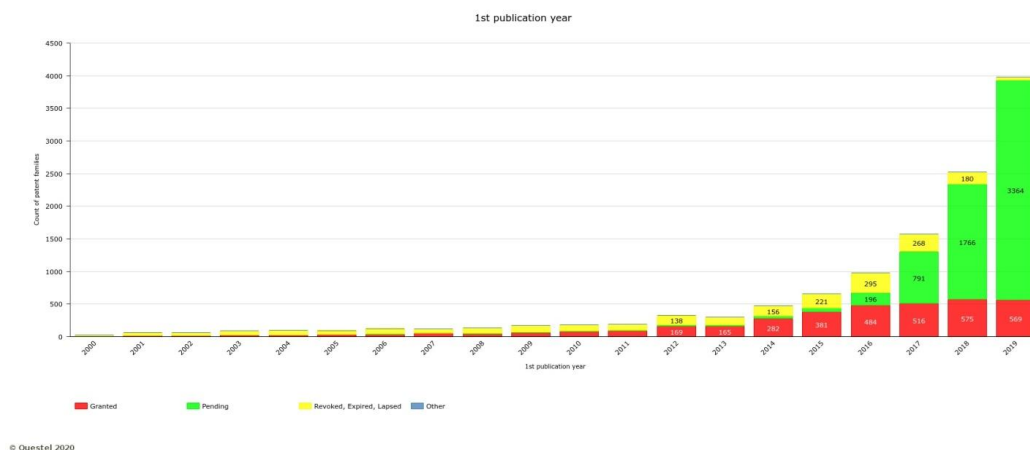
Отечественные технологии ИИ для здравоохранения и медицины: патентный анализ

Рост числа научных публикаций, связанных с использованием технологий ИИ в медицине, в последнее десятилетие был синхронизирован со значительным ростом патентной активности в этой области. В целом, предметные области «науки о жизни» и медицина» относят к областям техники, наиболее часто упоминаемым в патентных документах как сферы применения ИИ [3].

Для оценки места России на глобальном патентном ландшафте, связанном с применением ИИ в медицине, с использованием БД ОРБИТ был выполнен анализ массива документов, выданных в патентных ведомствах мира и России за последние 10 лет (2000-2019 гг.). Поисковый запрос имел вид: ((*medic+ or health+ or diseas+ or illness+ or (patient+ 10d (diagnos+ or treat+)) or wellness+ or (well-being)) and ((deep+ w learn+) or (machin+ w learn+) or (artificial+ w intelligen+) or ((intelligen+ or smart+) d (robot+ or system+)) or (artificial+ w neur+ w network+) or (machin+ w intelligen+) or (hybrid+ w intelligen+ w*

³ WIPO Technology Trends 2019: Artificial Intelligence. – URL: <https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4386>

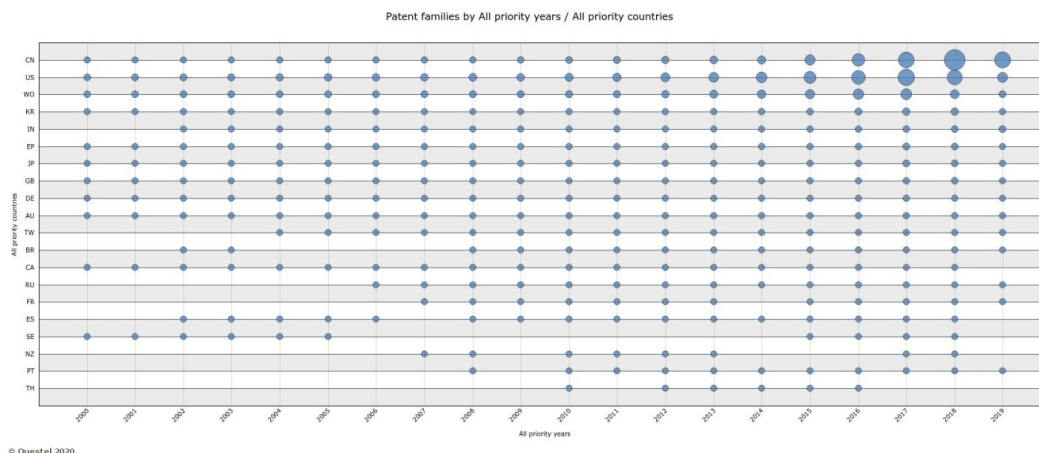
system+) or (natural+ w languag+ w process+) or (general+ w intelligen+) or (computer+ w vision+) or (speech w process+) or (distribut+ w AI))/TI/AB/CLMS AND PD=2000-01-01:2019-12-31. Этому поисковому образу соответствовало 12 243 патентных семейств.. Динамика патентования в данной области характеризуется экспоненциальным ростом, начавшимся в 2016 г. (рисунок 3). Число ежегодно подаваемых патентных заявок, связанных с применением технологий ИИ в медицине, за период с 2016 по 2019 гг. выросло более, чем в 17 раз (с 196 в 2016 г. до 3364 в 2019 г.).



Источник: БД ОДБИТ, данные актуальны на 23.05.2020 г.

Рисунок 3. Динамика патентной активности в мире по направлению «ИИ в медицине»:2000-2019 гг.

Китай и США в качестве стран приоритета сохраняют лидерство по объему национального патентного портфеля в области ИИ, зафиксированное в нашей более ранней публикации [46]. Сегодня можно говорить о достигнутом этими странами технологическом лидерстве, ориентированном конкретно на рынок продуктов и услуг, создаваемый на основе использования технологий ИИ в медицине. Характерно, что патентная активность резидентов Китая в этой области в последние 3 года существенно превосходит таковую у изобретателей из США (рисунок.4).



Источник: БД ОДБИТ, данные на 23.05.2020 г.

Рисунок 4. Динамика патентования в странах приоритета по направлению «ИИ в медицине»

Самые объемные патентные портфели, связанные с применением ИИ в медицине, принадлежат транснациональным компаниям: Siemens, Philips, IBM, Microsoft, Google. Большинство компаний, входящих в топ 30 лидеров патентования (таблица 8), либо обладают высокой степенью специализации и опыта в этой области (например, Siemens, Philips, Pin Gan Technology, Samsung, Fujifilm), либо являются активными игроками в сфере потребительской электроники, телекоммуникационный и/или программного сектора (например, IBM и Microsoft, Google). Однако среди них присутствуют и компании, специализирующиеся в других отраслях производства, такие как китайская электроэнергетическая компания SGCC.

В числе топ 30 патентообладателей мира по направлению «ИИ в медицине» широко представлены и университеты, среди которых лидируют Калифорнийский и Чжэцзянский. В целом, из 12 ведущих университетов, входящих в топ 30 патентообладателей мира в области «ИИ в медицине», подавляющее большинство (11) находятся в Китае. Самый крупный портфель патентных документов принадлежат Чжэцзянскому университету (ZHEJIANG UNIVERSITY), который занимает 6-ое место в рейтинге. Такая широкая представленность китайских университетах свидетельствует об интенсивной исследовательской деятельности в области «ИИ в медицине» в стремящейся к лидерству стране.

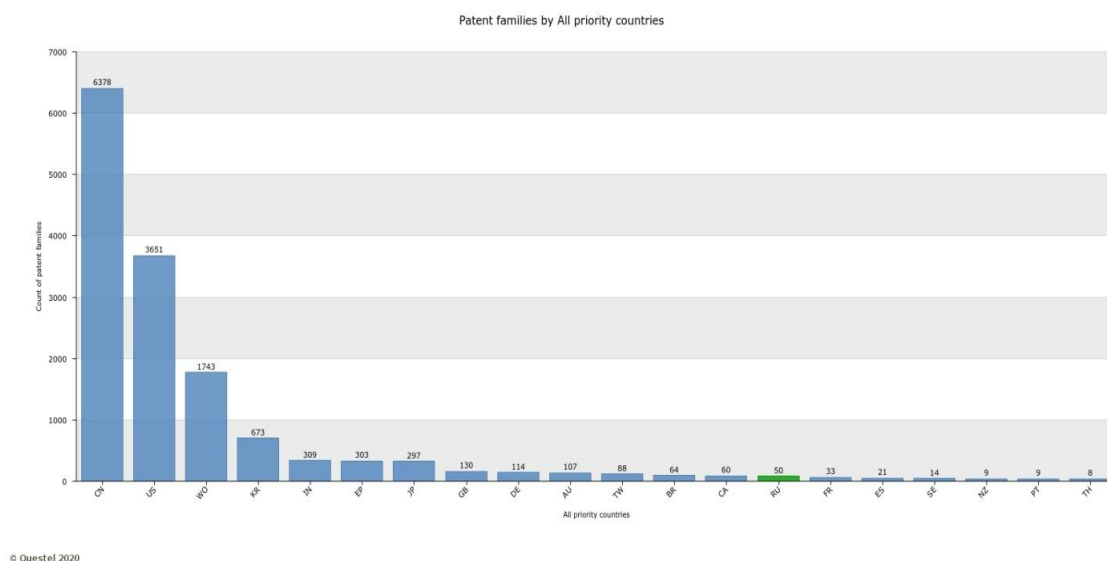
Таблица 8 - Топ 30 патентообладателей мира по направлению «ИИ в медицине»: 2000-2019 гг.

Патентообладатель	Количество патентных семей	Страна приоритета
1. SIEMENS HEALTHCARE	239	Германия
2. IBM	238	США
3. PHILIPS	150	Нидерланды
4. GENERAL ELECTRIC	86	США
5. MICROSOFT TECHNOLOGY LICENSING	77	США
6. ZHEJIANG UNIVERSITY	62	Китай
7. PINGAN TECHNOLOGY	61	Китай
8. SAMSUNG ELECTRONICS	53	Ю. Корея
9. UNIVERSITY OF CALIFORNIA	45	США
10. SHANGHAI UNITED IMAGING HEALTHCARE	44	Китай
11. SIEMENS MEDICAL SOLUTIONS USA	42	США
12. BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY	40	Китай
13. HUNAN VITAR TECHNOLOGY	39	Китай
14. FOSHAN YUNMI ELECTRICAL TECHNOLOGY	35	Китай

15. PING AN MEDICAL & HEALTHCARE MANAGEMENT	35	Китай
16. SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY	35	Китай
17. STATE GRID CORPORATION OF CHINA (SGCC)	35	Китай
18. TSINGHUA UNIVERSITY	35	Китай
19. CHONGQING UNIVERSITY	33	Китай
20. FUJIFILM	32	Япония
21. TENCENT TECHNOLOGY (SHENZHEN)	32	Китай
22. SIEMENS	31	Германия
23. SUN YAT SEN UNIVERSITY	31	Китай
24. NANJING UNIVERSITY OF POSTS & TELECOMMUNICATIONS	28	Китай
25. SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY	28	Китай
26. COCHLEAR	27	Австралия
27. FUDAN UNIVERSITY	27	Китай
28. HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY	27	Китай
29. UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE & TECHNOLOGY OF CHINA	27	Китай
30. GOOGLE	26	США

Источник: БД ОДБИТ, данные на 23.05.2020 г.

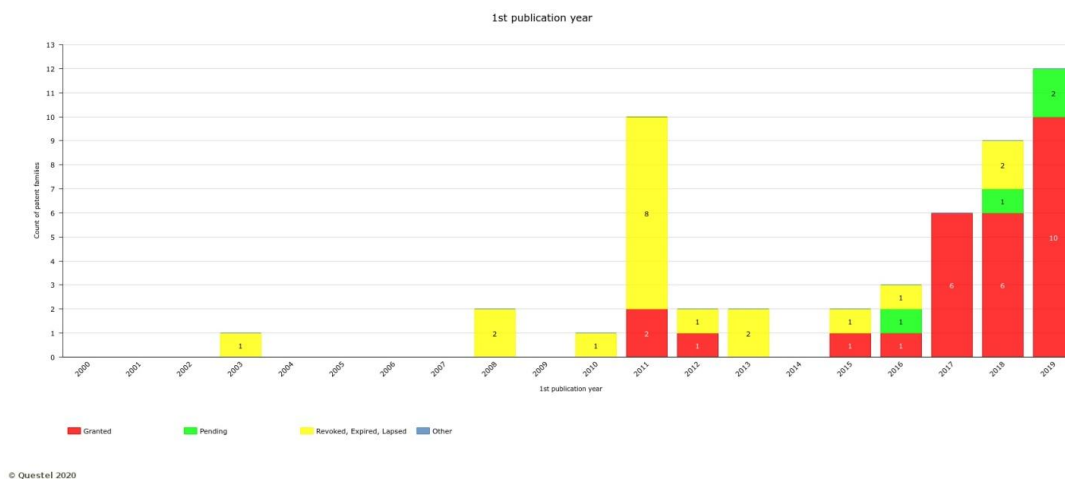
На ландшафте, сформированном патентными документами, защищающими технические решения в области «ИИ в медицине», Россия занимает скромные позиции, не подтверждающие ее намерения вступить в борьбу за перспективные рынки товаров и услуг, созданных на базе этих технологий. Из 150 патентов РФ, релевантных нашему поисковому образу, только 50 имеют российский приоритет (рисунок 5) и только 12 патентов российских разработчиков выданы в зарубежных патентных ведомствах.



Источник: БД ОДБИТ, данные актуальны на 23.05.2020 г.

Рисунок 5. Распределение патентов РФ по странам приоритета по направлению «ИИ в медицине».

О нестабильности патентной активности российских изобретателей свидетельствует и ее динамика (рисунок 6). Несмотря на то, что количество патентных семей с российским приоритетом в последние три года заметно выросло, в период 20016-2019 гг., отмеченный экспоненциальным ростом числа заявок на патенты в данной технологической области (рисунок 6), российские изобретатели подали всего 4 заявки.



Источник: БД ОДБИТ, данные актуальны на 23.05.2020 г.

Рисунок 6. Динамика патентной активности российских изобретателей по направлению «ИИ в медицине»: 2000-2019 гг.

Особо следует отметить, что из 150 патентных документов, действующих на территории РФ, 100 имеют приоритет другой страны, т.е. выданы нерезидентам России, что может стать препятствием для защиты новых технических решений отечественных разработчиков даже на территории своей страны.

В таблице 9 представлен перечень резидентов России, являющихся патентообладателями в области технологий ИИ для медицины. Этот перечень, к сожалению, невелик, а количество патентов, принадлежащих правообладателям, исчисляется единицами.

Таблица 9 – Организации, правообладатели патентов с приоритетом РФ по направлению «ИИ в медицине»

Правообладатель	Количество патентных семей
1. ФГУ МНТК "Микрохирургия глаза" им. С.Н.Федорова	9
2. Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова	3
3. Научно-клинический центр оториноларингологии ФМБА России	2
4. ООО "ИНТЕРЛОДЖИК"	2
5. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого	2
6. Томский национальный исследовательский медицинский центр	2
7. Уральский государственный университет им. А. М. Горького	1
8. Институт медико-биологических проблем РАН	1

9. Московский государственный медико-стоматологический университет имени А. И. Евдокимова	1
10. Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства	1
11. Сколковский научно-технический институт (Сколтех)	1
12. ООО "Бионик Натали"	1
13. Фонд Сальваторе Мауджери Клиника Труда и Реабилитации (ИТ) Хоспис в Москве	1
14. Биотехнологическая компания GERO	1
15. ООО AUTEX	1
16. ООО "НЕКС-Т"	1
17. ООО "БИ-ОН ЭМГ"	1
18. ООО «СИАМС»	1
19. SAMSUNG ELECTRONICS	1
20. СибЛаб	1
21. ООО "ЛИАНДРИ"	1
22. ЗАО "Импульс"	1
23. АО Научно-исследовательская и производственная фирма ТЕХИНТЕЛЛ	1
24. ЗАО «ОКБ «РИТМ»	1

Источник: БД ОДБИТ, данные актуальны на 23.05.2020 г.

Как следует из представленных в таблице 9 данных, самый большой по объему портфель патентных документов, обеспечивающих защиту технических решений в области применения технологий ИИ в медицине, принадлежит РФ ФГУ МНТК "Микрохирургия глаза" им. С.Н.Федорова (9 патентных семей), что существенно уступает показателям участников рейтинга топ 30 крупнейших патентообладателей мира, в который вошли 11 университетов и 7 компаний Китая с минимальным портфелем, состоящем из 27 патентных семей, и максимальным, включающем 62 патентные семьи.

Заключение

Развитие технологий ИИ в целом и сектора медицинского назначения, в частности, является четко оформленным и восходящим трендом глобальной научно-технологической сферы. В то же время рассматриваемый кластер технологий имеет огромный коммерческий потенциал: в ближайшие годы прогнозируется стремительный рост рынка продуктов и услуг, созданных технологиями ИИ. Это обстоятельство объясняет высокую публикационную и, что особенно важно для захвата рыночных ниш, патентную активность будущих игроков глобальных рынков. Особенно грозными конкурентами России за лидерство на новых рынках, созданных технологиями ИИ, являются компании США и Китая, которые к настоящему времени уже являются обладателями объемных портфелей патентных семейств, полученных в зарубежных патентных ведомствах, в том числе и в Роспатенте.

К сожалению, результаты выполненного нами наукометрического и патентного анализа не позволяют пока отнести Россию к числу стран, которые вступили в борьбу за мировое лидерство в области ИИ. Напротив, полученные результаты, скорее, свидетельствуют о наметившемся отставании нашей страны от США, Китая и стран ЕС. Так, на глобальном публикационном ландшафте Россия занимает всего лишь 27-ую позицию в мире по числу публикаций, посвященных применению ИИ в здравоохранении. Из 16 компаний, аффилиации которых указаны в публикациях с участие российских авторов, 13 являются зарубежными. В целом, только 14% публикаций в тематической категории «Computer science, artificial intelligence» выполнены в коллаборации с индустриальным сектором.

Конкурентным преимуществом России является наличие большого количества высококвалифицированных специалистов в сфере ИИ, которые способны внести значительный вклад в развитие российской цифровой экономики. Однако принципиально важно, чтобы эти специалисты работали в интересах отечественных, а не зарубежных компаний, как это часто происходит сегодня (и полученные нами результаты это подтверждают). Представляется, что для достижения лидерства на глобальном рынке продуктов и услуг, созданных технологиями ИИ, критически важна активность именно отечественных компаний, которая не просматривается в фокусе наукометрического и патентного анализов. В этой связи следует особо отметить, что сегодня достижению лидерства на новом рынке наукоемкой продукции предшествует обеспечение лидерства в сфере интеллектуальной собственности. Тот факт, что российские компании имеют ничтожно малые по объему портфели патентных семейств по сравнению с их зарубежными конкурентами, создает риски закрытия для них окон возможности выхода на глобальный рынок. Более того, согласно данным настоящей статьи, две третьих патентов России, защищающих технические решения использования ИИ в медицине и здравоохранении, уже принадлежат нерезидентам страны. Иными словами, даже для вывода отечественных продуктов и услуг, созданных на базе ИИ, на внутренний рынок могут возникнуть проблемы, связанные с нарушением прав нерезидентов страны, получивших патенты РФ.

Федеральный проект «Искусственный интеллект» с бюджетом 124,8 млрд руб. до 2024 года относится к числу наиболее ресурсообеспеченных, поэтому логично ожидать, что именно его реализация позволит выполнить целевые показатели национального проекта «Наука» о вхождении России в число топ 5 стран по числу публикаций в интернационализированном сегменте и по числу патентных заявок на изобретения. В этой

связи следует обратить внимание на тот факт, что для достижения данного целевого показателя публикационная и патентная активность России в тематической категории «Computer science, artificial intelligence» должна быть увеличена более, чем в 6 раз.

Представляется, что амбициозности отечественных стратегических документов и дорожных карт в сфере ИИ недостаточно для достижения лидерства на соответствующих глобальных рынках. Объем российских инвестиций в ИИ в 2018 г. составил менее 1% от мировых, примерно такую же долю (1%) составляют отечественные публикации и патентные документы резидентов страны. Поэтому представляется критически важным повышение и доведение до уровня индустриально развитых стран показателей инвестиционной, публикационной и патентной активности представителей индустриального сектора цифровой экономики России.

ЛИТЕРАТУРА

1. В чем разница между искусственным интеллектом, машинным обучением и глубоким обучением? (2016) / Nvidia. – URL: <http://www.nvidia.ru/object/whats-difference-ai-machine-learning-deeplearning-blog-ru.htm>
2. Matheny, M., S. Thadaneys Israni, M. Ahmed, and D. Whicher, Editors. 2019. Artificial Intelligence in Health Care: The Hope, the Hype, the Promise, the Peril. NAM Special Publication. Washington, DC: National Academy of Medicine. – URL: <https://nam.edu/wp-content/uploads/2019/12/AI-in-Health-Care-PREPUB-FINAL.pdf>
3. Bass D. (2016) Microsoft Develops AI to Help Cancer Doctors Find the Right Treatments / Bloomberg. 20.09.2016. – URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-09-20/microsoftdevelops-ai-to-help-cancer-doctors-find-the-righttreatments>.
4. Roberts J. (2016) Thinking Machines: The Search for Artificial Intelligence Distillations / Chemical Heritage Foundation. 17.02.2017. – URL: <https://www.chemheritage.org/distillations/magazine/thinking-machines-the-search-forartificial-intelligence>
5. Thomas Davenport, The potential for artificial intelligence in healthcare / Future Healthc J. 2019 Jun; 6(2): 94–98. doi: 10.7861/futurehosp.6-2-94
6. Niu, J.; Tang, W.; Xu, F.; Zhou, X.; Song, Y. Global research on artificial intelligence from 1990–2014: Spatially-explicit bibliometric analysis. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2016, 5, 66.
7. Begovic, M.; Oprunenco, A.; Sadiku, L. Let's Talk about Artificial Intelligence; UNDP: New York, NY, USA, 2018; Volume 2019.
8. Jiang, F.; Jiang, Y.; Zhi, H.; Dong, Y.; Li, H.; Ma, S.; Wang, Y.; Dong, Q.; Shen, H.; Wang, Y. Artificial intelligence in healthcare: Past, present and future. Stroke Vasc. Neurol. 2017, 2, 230–243.
9. Yu, K.-H.; Beam, A.L.; Kohane, I.S. Artificial intelligence in healthcare. Nat. Biomed. Eng. 2018, 2, 719–731.
10. Shaban-Nejad, A.; Michalowski, M.; Buckeridge, D.L. Health intelligence: How artificial intelligence transforms population and personalized health. NPJ Digit. Med. 2018, 1, 53.
11. Mudaly, T.; Moodley, D.; Pillay, A.; Seebregts, C.J. Architectural frameworks for developing national health information systems in low and middle income countries. In

- Proceedings of the First International Conference on Enterprise Systems: ES 2013, Cape Town, South Africa, 7–8 November 2013; pp. 1–9.
12. Shannon, C. E. 1940. *A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.; Xerox. 2019. Xerox and PARC Define the Era of Artificial Intelligence. – URL: <https://www.xerox.com/en-kn/insights/artificial-intelligence-today>
 13. John Kahan., Using AI to advance the health of people and communities around the world / The Official Microsoft Blog, 29.01.2020. – URL: <https://blogs.microsoft.com/on-the-issues/2020/01/29/ai-for-health-child-mortality/>
 14. Bayer and Exscientia partner to bring AI to drug discovery, By Sean Whooley, January 22, 2020. – URL: <https://www.drugdiscoverytrends.com/bayer-and-exscientia-partner-to-bring-ai-to-drug-discovery/>
 15. Reuters. 2016. One year after announcing pact, the Uber-Carnegie Mellon Partnership is stalled. *Fortune*. – URL: <http://fortune.com/2016/03/21/uber-carnegie-mellon-partnership/>
 16. Artificial intelligence in medicine / TADVISER, 28.11.2019. – URL: http://tadviser.com/index.php/Article:Artificial_intelligence_in_medicine#Bayer_implements_artificial_intelligence_for_search_of_new_drugs_for_cancer_therapy_and_heart_troubles
 17. 2020: Коронавирус приведёт к взрывному росту расходов на ИИ / TADVISER: Искусственный интеллект (мировой рынок), 10.04.2020. – URL: <http://www.tadviser.ru/index.php>
 18. National Institutes of Health (NIH). 2018. NIH Strategic Plan for Data Science. – URL: <https://datascience.nih.gov/strategicplan> (accessed December 7, 2019).
 19. JASON. 2017. Artificial Intelligence for Health and Health Care. – URL: https://www.healthit.gov/sites/default/files/jsr-17-task-002_aiforhealthandhealthcare12122017.pdf (accessed December 7, 2019).
 20. White House Office of Science and Technology Policy. 2018. *Summary of the 2018 White House Summit on Artificial Intelligence for American Industry*. – URL: <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/05/Summary-Report-of-White-House-AI-Summit.pdf>
 21. Trump, D. J. 2019. *Executive Order 13859: Maintaining American Leadership in Artificial Intelligence*. Federal Register 84(3967):3967–3972. – URL: <https://www.federalregister.gov/documents/2019/02/14/2019-02544/maintaining-american-leadership-in-artificial-intelligence>.
 22. National Science & Technology Council. 2019. *The National Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan: 2019 Update*. – URL: <https://www.nitrd.gov/pubs/National-AI-RD-Strategy-2019>. Pdf
 23. World Intellectual Property Organization. 2018. World Intellectual Property Indicators 2018. – URL: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_941_2018.pdf
 24. CBInsights. 2018. Artificial Intelligence Trends to Watch in 2018. – URL: <https://www.cbinsights.com/research/report/artificial-intelligence-trends-2018/>
 25. Duranton, S., J. Erlebach, and M. Pauly. 2018. Mind the (AI) Gap: Leadership Makes the Difference. Boston, MA: Boston Consulting Group. – URL: [https://media-publications.bcg.com/france/Mind-the-\(AI\)-Gap-Press-deckVF.pdf](https://media-publications.bcg.com/france/Mind-the-(AI)-Gap-Press-deckVF.pdf)
 26. Mozur, P. 2017. Beijing wants A.I. to be made in China by 2030. *The New York Times*. – URL: <https://www.ny-times.com/2017/07/20/business/china-artificial-intelligence.html>

27. Gerbert, P., M. Reeves, S. Ransbotham, D. Kiron, and M. Spira. 2018. Global competition with AI in business: How China differs. MIT Sloan Management Review. – URL: <https://sloanreview.mit.edu/article/global-competition-of-ai-in-business-how-china-differs>
28. Simonite, T. 2019. How health care data and lax rules help China prosper in AI. Wired. – URL: <https://www.wired.com/story/health-care-data-lax-rules-help-china-prosper-ai/>
29. European Commission Joint Research Centre. 2018. *Artificial Intelligence: A European Perspective*. – URL: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC113826/ai-flagship-report-online>. Pdf
30. Ernst & Young. 2019. Artificial Intelligence in Europe—Germany: Outlook for 2019 and Beyond. Prepared for Microsoft. – URL: [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-artificial-intelligence-in-europe/\\$FILE/ey-artificial-intelligence-in-europe-germany.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-artificial-intelligence-in-europe/$FILE/ey-artificial-intelligence-in-europe-germany.pdf)
31. Franke, U., and P. Sartori. 2019. Machine Politics: Europe and the AI Revolution. Policy brief. – URL: <https://www.ecfr.eu/publications/summary/machine-politics-europe-and-the-ai-revolution>
32. European Union Member States Representatives. 2018. EU Declaration on Cooperation on Artificial Intelligence. – URL: <https://ec.europa.eu/jrc/communities/en/node/1286/document/eu-declaration-cooperation-artificial-intelligence>
33. European Commission. 2019. Ethics Guidelines for Trustworthy Artificial Intelligence. – URL: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/ethics-guidelines-trustworthy-ai>
34. Turing, A. M. 1950. Computing machinery and intelligence // Mind 49:433–460.
35. UK House of Commons, Science and Technology Committee. 2016. Robotics and Artificial Intelligence. Fifth Report of Session 2016-17. – URL: <https://publications.parliament.uk/pa/cm201617/cmselect/cmsctech/145/145.pdf>
36. UK House of Lords, Select Committee on Artificial Intelligence. 2018. AI in the UK: Ready, Willing and Able? Report of Session 2017-19. – URL: <https://publications.parliament.uk/pa/ld201719/ldselect/ldai/100/100.pdf>
37. UK Government. 2019. AI Sector Deal. Policy paper. – URL: <https://www.gov.uk/government/publications/artificial-intelligence-sector-deal/ai-sector-deal>
38. Программа "Цифровая экономика Российской Федерации". Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р
39. Центр компетенций НТИ по направлению «Искусственный интеллект» // РВК. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rvc.ru/eco/overcoming_technological_barriers/competence_centers_nti/144434
40. Послание Президента Федеральному Собранию. Москва, 20.02.2019. / Официальный сайт Кремля. - <http://www.kremlin.ru/events/president/news/59863>
41. Интеллект минус вирус. Расходы на федеральный проект могут пересмотреть / Газета "Коммерсантъ" №61 от 06.04.2020, стр. 7. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4314920>
42. Указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 № 490 "О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации". – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201910110003>
43. Ястребова С. Чем займется российский альянс по развитию искусственного интеллекта / Ведомости. 09.11.2019. – URL: <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2019/11/09/815838-alyans>

44. На «Острове 10-22» представлен проект НОЦ «Искусственный интеллект» 14.08.2019.
– URL: https://ntinews.ru/news/unti/ostrov/na-ostrove-predstavlen-proekt-nots-iskusstvennyy-intellekt.html?sphrase_id=6362632
45. Clarivate Analytics: InCites Essential science indicators help – URL: <http://help.incites.clarivate.com/incitesLiveESI/ESIGroup/indicatorsGroup/indicatorsESI.html>
46. Цветкова Л.А. Технологии искусственного интеллекта как фактор цифровизации экономик России и мира / Экономика науки, 2017, т.3, №2, С. 126-144.