

ОБЗОР

УДК 616:004.9

**РОССИЙСКИЙ И МИРОВОЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
В РЕАЛЬНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПРАКТИКЕ****¹Рязанова С.В., ^{1,2}Комков А.А., ¹Мазаев В.П.***¹ФГБУ «НМИЦ Терапии и профилактической медицины» Минздрава РФ,
Москва, e-mail: sryazanova@gnicpm.ru;**²ГБУЗ «Городская клиническая больница № 67 им. Л.А. Ворохобова ДЗМ», Москва*

С развитием технологий искусственного интеллекта (ИИ) и общедоступностью знаний обработки Big-Data начали появляться новые кейсы применения множества вариантов машинного обучения в различных решениях для здравоохранения. Умные протезы конечностей, виртуальная и дополненная реальность в оперативных вмешательствах, микророботы, генетические ножницы, анализ множества медицинских изображений различных модальностей во многом стали реальностью благодаря исследованиям с участием ИИ. Использование виртуальных помощников, следящих за процессом лечения и напоминающих о необходимости приема лекарств и посещения врача, помогает людям избегать последствий серьезных заболеваний и вовремя следить за показателями. Формат стартапов взаимодействия медицинских работников и инженеров-программистов позволил в значительной степени сократить расходы на разработку и реализацию интеллектуальных продуктов для государства и корпораций. Экономическая выгода представленных проектов неопределима и дает абсолютные преимущества выхода на мировой рынок в условиях всеобщего спада экономики, в первую очередь связанного с пандемией. Прогнозы показательного прогрессирования роботизированной медицины и ИИ дадут о себе знать уже в ближайшие годы с внедрением новых интерфейсов по типу человек – компьютер.

Ключевые слова: искусственный интеллект, ИИ, машинное обучение, обработка данных, автоматизация, здравоохранение, медицина

**RUSSIAN AND WORLD EXPERIENCE IN THE APPLICATION OF NEW
ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN REAL MEDICAL PRACTICE****¹Ryazanova S.V., ^{1,2}Komkov A.A., ¹Mazaev V.P.***¹National Research Centre for Preventive Medicine of the Ministry of Healthcare
of Russian Federation, Moscow, e-mail: sryazanova@gnicpm.ru;**²City Clinical Hospital № 67 of Moscow Health Department, Moscow*

With the development of artificial intelligence (AI) technologies and the general availability of BigData processing knowledge, new cases of applying a variety of machine learning options in various healthcare solutions have begun to appear. Smart prosthetic limbs, virtual and augmented reality in surgical interventions, micro robots, genetic scissors, analysis of many medical images of various modalities have largely become a reality thanks to research involving AI. The use of virtual assistants that monitor the treatment process and remind people about the need to take medications and visit a doctor helps people avoid the consequences of serious diseases and monitor their indicators in time. The format of startups between medical professionals and software engineers has significantly reduced the costs of developing and implementing intelligent products for the state and corporations. The economic benefits of the presented projects are invaluable and provide absolute advantages of entering the world market in the conditions of a general economic downturn, primarily associated with the pandemic. Forecasts of the exponential progression of robotic medicine and AI will already make themselves felt in the coming years with the introduction of new human-computer interfaces».

Keywords: artificial intelligence, AI, machine learning, data processing, automation, healthcare, medicine

Сотни стартапов на основе ИИ, которым место скорее в сказках или на страницах романов, ворвались в нашу жизнь. Исключение не составляет и медицина, самая консервативная наука. Так за последние 20–30 лет в медицине сбылась уже точно половина классики мировой фантастики XX в. [1]. Очевидно, что поиски ИИ, как и все изыскания, начинаются с мечты. Хирургические операции с дополненной реальностью, лазерные скальпели, неразличимые датчики, которые могут контро-

лировать и анализировать многие функции и процессы жизнедеятельности организма, генная терапия, создание лекарств, роботы-сиделки. Протез верхней конечности Bebionic вращает запястье на 360 градусов, берет предметы, поднимает до 45 кг [2]. Уже сформировался рынок VR-и AR-очков, позволяющих слепым и мало видящим людям ориентироваться в пространстве (компьютерное зрение) [3]. Современные микророботы-исследователи – «роботы-бактерии», «роботы-муравьи», «медицинская пыль» –

могут «заглянуть» в любой уголок организма, а в скором времени научатся доставлять лекарство [4].

В настоящее время наиболее перспективными признаются несколько решений высоких технологий.

Приложение СберЗдоровье использует ИИ для распознавания симптомов. Перед онлайн-консультацией оно предполагает диагнозы и, исходя из этого, советует клиенту врача [5].

Экономически эффективно проведение роботизированных вмешательств. Робот-ассистированная хирургическая система «da Vinci» дает возможность проводить сложные операции, которые часто сложно выполнить руками и стандартным инструментарием. Четыре руки робота выполняют функции воспроизведения видеоизображения, проведения хирургических манипуляций и ассистирования в помощь основным инструментам [6].

С помощью современных хирургических инструментов удастся избежать потери крови. Так, например iKnife, работая как световой меч, позволяет в значительной мере уменьшить кровопотерю, что является критическим при выполнении сложных хирургических вмешательств [7].

Microsoft HoloLens используют метод дополненной реальности при выполнении операций. Хирург может прямо во время интервенции получать в поле зрения данные по поводу прохождения важных структур и быстрее и точнее принимать решения [8].

Новым направлением развития инновационных технических решений для здравоохранения является электронная медицинская сестра, которая включает в себя службу напоминания о необходимости приема лекарств, программы, отслеживающие изменения артериального давления или уровня глюкозы. Программа виртуальной медсестры в настоящее время активно разрабатывается. Она должна неотрывно «сопровождать» больного на протяжении всего периода лечения, осуществлять мониторинг состояния пациента, фиксировать показатели датчиков, установленных на теле, предоставлять ответы на стандартные вопросы больного (время процедур, фамилия врача, длительность лечения), транскрибировать голосовые сообщения врача в текст, транскрибировать голосовую запись в текст – запись в медицинскую карту [9]. В этом случае медсестра рассматривается как ассистент, позволяющий установить качественный канал связи между врачом и пациентом или лечебным учреждением.

Еще одним важным направлением применения ИИ является автоматизация до-

кументооборота. Компьютер, делая за специалистов рутинные действия, разгружает работника, что позволяет ему больше сконцентрироваться на стратегических моментах и в конечном итоге повысить общую результативность.

Измерение уровня глюкозы в настоящее время стало в некоторой степени доступным через контактные линзы, упрощая жизнь пациентам с сахарным диабетом [8].

Программа Neurolex.co предполагает распознавать психические заболевания. Как известно, в психиатрии заболевания отличаются разнообразием отклонений в разговоре: интонация, промежутки между словами, скорость и громкость речи, которые оцениваются обученной нейросетью [10].

Программа Face2Gene, распознавая различные признаки в лицах исследуемых, выявляет врожденные генетические заболевания [11].

В настоящее время разрабатываются инновационные подходы к медицинской визуализации.

Примером может послужить возможность создавать один вид изображения на основании другого. Этому могут обучаться генеративные алгоритмы. Нейросети моделируют изображения на основании известной информации, как в развлекательных мобильных приложениях, в которых можно создать «гибрид» двух людей по фотографии. В медицине это применимо, когда пациенту во время обследования требуется сразу две процедуры: компьютерная томография и МРТ. Чтобы снизить уровень лучевой нагрузки, особенно если пациент – ребенок, ученые создали метод, который называется квази-КТ. Согласно ему обученная программа генерирует КТ на основе существующих МРТ. Пациент проходит одну процедуру вместо нескольких. Таким образом, уменьшается время и стоимость обследования, а главное – доза облучения [12].

Лаборатория по ИИ Сбера представила два ИИ-сервиса: модель по определению очагов пневмонии на рентгеновских снимках с дальнейшей приоритизацией пациентов для лечения и модель, позволяющую оценивать риск тяжести течения заболевания у пациентов, госпитализированных с пневмонией [13].

В Нидерландах в 2021 г. ученые создали нейросеть для выявления рака по данным компьютерной томографии и рентгеновских изображений. По данным диагностических снимков программа анализировала узлы легких на предмет малигнизации. Программа была обучена на более чем 16 тыс. различных рентгеновских изображений, почти десятая часть из них имели признаки рака.

Узлы в своем большинстве не имеют признаков малигнизации, однако в 1 из 5 случаев это оказывалось раковой опухолью. Программа не уступала специалистам высокого уровня в оценке такого рода образований и смогла верно поставить диагноз приблизительно в 90% случаев [14].

Ученые из EMBL-EBI (Европейский институт биоинформатики), Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова провели исследование на миллионах патологоанатомических изображений из атласа – «проект пан-раковый анализ». В результате обучения нейросети были выявлены более 1500 признаков рака [15].

Примененный в последующем метод анализа под названием PC-CHiP (Pan-Cancer Computational Histo Pathology) позволил установить зависимости между наблюдаемой морфологией и генетикой опухолей [16].

Новый подход показал наличие связи между гистологическими паттернами и мутациями, связанными с изменениями числа хромосом или их строения. Ученые выяснили, что наиболее сильное влияние на морфологию ткани оказывает дупликация q-плеча 8-й хромосомы. Эта мутация наблюдалась в 12 различных типах образований. Другой подобной мутацией является потеря p-плеча 17-й хромосомы, на которой локализуется противоопухолевый ген TP53 [17].

Создан алгоритм, который по набору снимков кожных аномалий, таких как «подозрительные» родинки, может помочь с определением заболевания, который превосходит специалиста-онколога по качеству прогноза на всех уровнях значимости.

Герштунг и его коллеги предположили, что существующие нейросетевые подходы, применяемые для создания программ для анализа ситуации на дорогах и в области воздухоплавания можно использовать в медицинских целях для того чтобы различать раковые клетки от здоровых.

Благодаря достижениям в генетике сегодня стало возможно лечить заболевания, связанные с генетическими мутациями.

Emmanuelle Marie Charpentier и Jennifer Anne Doudna развили методику CRISPR/Cas9, за что получили Нобелевскую премию. Технология редактирует гены, точно разрезая ДНК, а затем ДНК восстанавливается благодаря естественным процессам. В Нобелевском комитете отмечают, что открытие произвело революцию в биомедицинских исследованиях и вскоре может привести к медицинским прорывам, что удавалось немногим биологическим инновациям до этого [18].

В настоящее время более распространена митохондриальная заместительная терапия (МРТ) – новая форма репродуктивного экстракорпорального оплодотворения (ЭКО), которая работает по принципу замены аномальной митохондриальной ДНК женщины здоровой донорской. МРТ включает в себя различные методы, такие как перенос веретен, перенос ядер или перенос полярного тела [19]. Такой метод используется, когда митохондриальные мутации пар несовместимы с жизнью плода, и позволяет ребенку развиваться нормально. У пожилых людей с помощью экстракорпорального оплодотворения МРТ обеспечивается замена дефектной цитоплазмы, чтобы повысить вероятность наступления беременности. Методика CRISPR/Cas9, как предполагается, решит проблему митохондриальных мутаций, которая, как известно, проявляется нейромышечными болезнями. Система содержит две ключевые молекулы, которые вносят изменение (мутацию?) в ДНК Cas9 и гид РНК. Фермент Cas9 действует как пара «молекулярных ножниц», которые могут разрезать две нити ДНК в определенном месте генома, чтобы затем можно было добавить или удалить части ДНК. Часть РНК называется направляющей РНК (гид РНК). Она состоит из небольшого фрагмента предварительно разработанной последовательности РНК (длиной около 20 оснований), расположенной внутри более длинного каркаса РНК. Часть каркаса связывается с ДНК, и предварительно разработанная последовательность «направляет» Cas9 в правильную часть генома. Это гарантирует, что фермент Cas9 разрезает в нужной точке генома [20].

В 2013 г. было выполнено первое исследование по данной технологии на клетках человека, и уже в 2015 г. были выполнены изменения в клетках плода человека [21, 22].

Наметился прорыв в лечении врожденной глухоты на основе генной терапии. Ученым известно более 120 генов, которые связаны с наследственной глухотой. Именно на генетическую форму и направлена работа исследователей из Тель-Авивского университета. Израильские специалисты направили внимание на мутацию только в одном гене – SINE4 [23].

Дети, унаследовавшие такой дефект, рождаются с нормальным слухом, но по мере взросления теряют его. Мутация вызывает локализацию ядер в так называемых волосковых клетках, находящихся внутри улитки внутреннего уха. Эти клетки служат рецепторами звуковых волн и нужны для развития нормального слуха. Именно волосковые клетки гибнут при дефекте, что приводит в итоге к глухоте [24].

Чтобы доставить нормальный генетический материал в ткани, ученые создали безвредный синтетический вирус. Его ввели во внутреннее ухо новорожденных мышат, имеющих дефектный ген SYNE4. После этого исследователи контролировали слух грызунов при помощи физиологических поведенческих тестов.

В результате специалисты констатировали, что все мыши, которым вводили вирус с направленным геном, «выздоровели»: у них развился нормальный слух с почти такой же чувствительностью, которая бывает у здоровых собратьев. Уже сегодня ученые приступили к разработке аналогичных методов терапии других мутаций, вызывающих глухоту.

Исследователи из Института автоматизации Академии наук Китая обнаружили необычный признак нейровизуализации, основанный на гипотезе, для идентификации, прогнозирования и подтипирования шизофрении на основе функциональных стриатальных аномалий. Используя перекрестную проверку функциональных магнитно-резонансных изображений, полученных с семи независимых сканеров ($n = 1100$), программа отличала лиц с шизофренией от здоровых контрольных групп с точностью, превышающей 80% [25]. Локусы гиперактивности полосатого тела повторяли пространственное распределение дофаминергической функции и профили экспрессии полигенного риска развития шизофрении.

Ученые из США натренировали сверточные нейронные сети на основе датасета из более чем 100 тысяч клинических снимков, содержащих 2 тысячи разных болезней, подтвержденных биопсией, а также проверили результаты в сравнении заключений 21 опытных клинических специалистов. Нейронная сеть достигала результатов наравне со всеми проверенными экспертами по обоим задачам, демонстрируя искусственный интеллект, способный классифицировать рак кожи с уровнем компетентности, сопоставимым с дерматологами. Оснащенные глубокими нейронными сетями, мобильные устройства потенциально могут расширить охват дерматологов за пределами клиники. По прогнозам, уже в ближайшие годы программа на смартфоны потенциально сможет обеспечить недорогой всеобщий доступ к жизненно важной диагностической помощи [26].

Совместными усилиями ученых из России, США и Франции разработали специальную сверточную нейронную сеть, оптимизированную для сегментации хряща запястья по 2D МР-изображениям. Нейрон-

ная сеть использовала планарную архитектуру и подход к обучению на основе патчей, который обеспечивал оптимальную производительность при наличии ограниченного объема обучающих данных [27]. Программа была обучена и проверена на 20 наборах данных МРТ с несколькими срезами, полученных у 11 испытуемых (здоровых добровольцев и пациентов). Проверка включала в себя сравнение с альтернативными современными методами нейронных сетей для сегментации суставов по МРТ-изображениям и ручной сегментации с использованием достоверной информации. Разработанная сверточная нейронная сеть с патч-обучением продемонстрировала эффективность, схожую с мануальной сегментацией (коэффициент подобия Сёрнсена – Дайса (DSC) = 0,81). Разработанная сеть поможет в диагностике и лечении болезней суставов.

Интересен опыт израильской компании Zebra Medical Vision Ltd, которая представила систему искусственного интеллекта для автоматического анализа и постановки диагноза по сканам МРТ, КТ, рентгеновских снимков и других исследований. Программа способна выявлять 11 различных заболеваний, в том числе рак легких и молочной железы, заболевания сердца и сосудов, травмы головного мозга и конечностей. При обучении нейросети использовались миллионы разных снимков обследований, представленных больницами. В тестовом эксперименте в Оксфордском университете продукт Zebra Medical Vision Ltd показал точность диагностики на уровне 95% и 100%-ную способность отличать больных людей от здоровых. Этот нейросетевой алгоритм интегрирован в радиологические информационные системы и системы обмена изображениями, которые используются в медицинских учреждениях США, Великобритании и других стран [28].

Для исследования сердца создан кардио-МРТ, один из самых современных методов диагностики кардиологических заболеваний. За время одного исследования получают десятки снимков – в работу МР-сканера внедрен искусственный интеллект, который рассчитывает жизненно важные параметры – вычисляет объемы камер сердца, выделяет сердечную мышцу стенки, клапаны, сосуды [29].

Серьезная проблема, которая встает перед мировым медицинским сообществом – это развитие нечувствительности к антибиотикам. Причем интересно отметить, что, даже если пациент не принимает антибиотики, это ничего не значит. Он инфицируется бактериальными агентами, которые уже толерантны к лечению.

Нейронные сети успешно применяются для решения проблемы резистентности бактерий к уже существующим препаратам.

Ученые Массачусетса обучили глубокую нейросеть для обнаружения новых антибиотиков [30]. Был проанализирован ряд датасетов по химии после чего было выделено вещество из хаба перепрофилирования лекарств – галицин, имеющий мало схожего с обычными антибиотиками. Препарат способен влиять на большую филогенетическую гамму возбудителей, включая микобактерию туберкулеза и резистентные к карбапенемам энтеробактерии. Галицин также был эффективен при инфекциях, вызванных *Clostridium difficile* и пан-резистентным *Acinetobacter baumannii*, проверенных на животных. Кроме того, из дискретного набора из 23 эмпирически проверенных прогнозов для >107 миллионов молекул, отобранных из базы данных ZINC15, модель определила восемь антибактериальных соединений, далеких от широко применяемых антибактериальных средств. Также исследователи подчеркнули полезность подхода «deep learning» для расширения выбора антибактериальных медикаментов за счет открытия структурно различных антибактериальных молекул.

Другие ученые из США разработали систему анализа эпилепсии [31]. Новый метод прогнозирования припадков для конкретного пациента основан на глубоком обучении и применяется к долгосрочным записям электроэнцефалограммы головы (ЭЭГ). Цель состоит в том, чтобы точно определить предсудорожное состояние мозга и как можно раньше отличить его от преобладающего межприпадочного состояния и сделать его доступным в реальном времени. Предлагаемый подход использует преимущества сверточной нейронной сети для извлечения значимых пространственных объектов из разных положений головы и рекуррентной нейронной сети для прогнозирования частоты судорог раньше, чем современные методы. Предложен алгоритм выбора каналов для выбора наиболее релевантных каналов ЭЭГ, что делает предлагаемую систему хорошим кандидатом для использования в режиме реального времени. Достигнутая наивысшая точность 99,6% и наименьшая частота ложных срабатываний наряду с очень ранним временем прогнозирования припадков в 1 ч делают предлагаемый метод наиболее эффективным среди современных. Метод дает людям достаточно времени для принятия нужных медикаментов. По данным ВОЗ, сейчас около 50 млн человек в мире страдают эпилепсией, при этом 70% из них могут контролировать свое заболевание с помощью лекарств.

Оператор здравоохранения в Пенсильвании Geisinger научил ИИ предсказывать повышенный риск смерти пациентов. Системе достаточно ЭКГ, чтобы сказать, кто выживет, а кто умрет в течение следующего года. Об этом 17.11.2019 сообщил сайт New Scientist со ссылкой на исследователей, создавших алгоритм [32, 33].

Исследователи обучили алгоритм на 1,77 млн записей ЭКГ от 400 тыс. пациентов с измерениями вольтажа через разные промежутки времени. Так, система научилась видеть шаблоны, которые могут указывать на будущие проблемы с сердцем, в том числе сердечные приступы и мерцательную аритмию.

«Мы обнаружили, что модель видит признаки, которые люди, видимо, не могут заметить, или мы просто игнорируем их и считаем нормальными. В теории, ИИ может научить нас вещам, которые мы, вероятно, десятилетиями интерпретировали неверно», – предполагает главный исследователь Гейзингер Форнуолт.

Исследователи из Кембриджа продемонстрировали автоматизированный алгоритм обнаружения депрессии, который моделирует интервью между пациентом и интервьюером и извлекает уроки из последовательности вопросов и ответов без необходимости выполнять явное тематическое моделирование контента. Ученые использовали данные 142 человек, проходивших скрининг на депрессию, и смоделировали взаимодействие с аудио- и текстовыми функциями в модели нейронной сети с долговременной памятью для выявления депрессии. Результаты были сопоставимы с методами, которые явно моделировали темы вопросов и ответов, что говорит о том, что депрессию можно обнаружить путем последовательного моделирования взаимодействия с минимальной информацией о структуре интервью [34, 35].

Компьютерная программа Eliza, которая отвечает на текстовые сообщения, набранные на естественном языке, имитируя диалог между пользователем и психотерапевтом, была создана в 1964 г. информатиком Джозефом Вейценбаумом (1923–2008) и стала одним из первых и наиболее убедительных виртуальных собеседников (диалоговых речевых симуляторов). Вейценбаум был потрясен и расстроен тем, какие глубокие эмоции и какую личную информацию раскрывали некоторые люди при общении с Eliza: они словно считали ее реальным человеком, способным к сопереживанию [36].

Сегодня виртуальные собеседники (чат-боты) часто используются в диалоговых системах техподдержки и для различных ви-

дов онлайн-помощи и психотерапии. Кроме того, их встраивают в некоторые игрушки, например для детей с аутизмом [37].

Ученые из Люксембурга исследовали детей с расстройством аутистического спектра (РАС), имеющих высокую распространенность проблем с психическим здоровьем, которые связаны со сниженными эмоциональными способностями. Целью исследователей была оценка эффективности тренировки эмоциональных способностей с помощью роботов для повышения эмоциональных способностей и психического здоровья детей с РАС.

Используя схему подготовки до и после обучения, 12 детей с РАС (все мальчики) в возрасте от 8 до 14 лет прошли 7-недельное обучение эмоциональным способностям при посредничестве робота. Сеансы проходили еженедельно и длились по одному часу каждый. Детей сравнивали до и после тренинга по их эмоциональным способностям и психическому здоровью с помощью шкал и опросников. Было обнаружено, что в отношении эмоциональных способностей использование детьми стратегий регуляции эмоций в задаче «Реагирующая и регулирующая ситуация» значительно улучшилось после обучения, но не было обнаружено существенных улучшений в отношении мер, о которых сообщили родители, за исключением незначительного значимого влияния на эмоциональный контроль детей. Что касается психического здоровья, то тренинг значительно уменьшил проблемы с интернализацией и симптоматикой, связанной с аутизмом, но не оказал влияния на внешние проблемы. В целом результаты настоящего исследования следует интерпретировать осторожно, они предоставляют ограниченные доказательства положительных эффектов обучения робот-опосредованными адаптивными эмоциональными способностями и в таких проблемах психического здоровья, как депрессивная симптоматика и тревога, а также трудности социального общения, связанные с аутизмом. Это исследование способствует прогрессу исследований в области роботизированных вмешательств для детей с РАС [38].

В 1972 г. психиатр Кеннет Колби (1920–2001) написал компьютерную программу PARRY, имитирующую человека с параноидальной шизофренией. Главным образом PARRY был предназначен для проверки теорий параноидального мышления [36].

В 1989 г. Колби разработал и продавал программу для лечения депрессии. Одному скептически настроенному журналисту Колби сказал, что его программа для лечения депрессии может оказаться даже луч-

ше живого терапевта, поскольку «в конце концов, компьютер не выгорает, не смотрит на нас сверху вниз...».

Решения ИИ пытаются справиться с COVID-19. Наряду с созданием вакцины идет работа по рутинной обработке массивов накопленных данных с помощью ИИ. Разработчики, связанные с анализом текста на основе большой базы данных, включающей десятки тысяч публикаций, провели исследования для выявления новых подходов к лечению [39].

Специалисты из MIT применили компьютерное моделирование для разработки пептида, который смог бы уничтожать коронавирус.

«Наша идея заключается в том, чтобы использовать вычислительные методы для разработки пептида, который мог бы стать терапевтическим средством при COVID-19. Как только такой пептид попадет в клетку, он сможет просто пометить и разложить вирус» – объясняет MIT News ведущий автор исследования Пронам Чаттерджин. При помощи компьютерной модели и технологии генного редактирования CRISPR они генерировали нужный пептид. В качестве отправной точки был использован белок ACE2, который находится на поверхности определенных клеток и соединяется с шипами коронавируса. Прототип пептида разрушил ACE2 на мелкие фрагменты, а компьютерная модель предсказала, как эти кусочки будут взаимодействовать с белками-шипами коронавируса.

Компания Deep Mind Google Alpha Let с помощью алгоритма, обученного на больших геномных данных, определила структуру белков, связанных с вирусом, что может ускорить поиск лекарств [40].

Компания Benevolent AI при использовании гипотезы, выдвинутой алгоритмами ИИ, выявила, что препарат для лечения ревматоидного артрита барицитиниб помогает при новой коронавирусной инфекции. Данные COV-BARRIER trial показывают, что госпитализированные пациенты с новой коронавирусной инфекцией, принимавшие препарат, умирали реже на 38% [41].

Онат Кадиглу и соавт. создали химические библиотеки, состоящие из лекарств, одобренных FDA, для перестановки лекарств и наборов данных природных соединений из анализа литературы и базы данных ZINC, чтобы выбрать соединения, взаимодействующие с белками-мишенями SARS-CoV-2 (спайковый белок, нуклеокапсидный белок и 2'-о-рибоза метилтрансфераза). При поддержке суперкомпьютера MOGON соединения-кандидаты были предсказаны как предполагаемые ингибиторы SARS-

CoV-2. Интересно, что несколько одобренных препаратов против вируса гепатита С, еще один вирус с однонитевой (-) ssРНК в оболочке (паритапревир, симепревир и велпатасвир), а также препараты против трансмиссивных заболеваний, против рака или других заболеваний были определены в качестве кандидатов против SARS-CoV-2. Этот результат подтверждается сообщениями о том, что соединения против гепатита С также активны против коронавируса Ближневосточного респираторного вирусного синдрома (MERS) [42].

Российская компания Gero продемонстрировала, как большие данные крупных медицинских исследований на людях и аналитические подходы, заимствованные из физики сложных динамических систем, могут помочь перепроектировать биологию, лежащую в основе закона смертности Гомпертца. С помощью такого подхода исследователи создают прогностические модели старения для систематического выявления биомаркеров старения с последующим определением новых терапевтических целей для будущих антивозрастных вмешательств. [39]. Разработчики эксплуатировали ИИ для определения лекарств, влияющих на репликацию коронавируса. Из итогового списка выделили два медикамента: никлозамид и нитазоксанид.

Российские врачи научили нейросеть определять коронавирус. С помощью ИИ-технологий computer vision было проанализировано 10 тыс. изображений компьютерных томограмм. В результате искусственный интеллект начал фиксировать даже небольшие очаги заражения, которые не видит человеческий глаз. Производительность программы – 150 исследований в день [43].

Ученые из США выдвигают прогнозы показательного прогрессирования роботизированной медицины и ИИ, которые дадут о себе знать уже в ближайшие годы с внедрением новых интерфейсов по типу человек – компьютер [44]. Данная технология позволит соединяться головному мозгу с облачными компьютерными сервисами. Роберт Фрейтас (Robert Freitas) в своих исследованиях продемонстрировал, что нейронанороботы, будут неотъемлемой частью диагностики и лечения человека. Также они смогут обеспечивать соединение с нервной системой и компьютером вне организма с функциями облачного хранения и обработки данных.

Компания Илона Маска демонстрировала нейрочип, предназначенный для передачи сигналов между мозгом и компьютером. Имплант внедряли подопытным свиньям,

показав, как технология позволяет считывать данные из мозга животного в реальном времени. В 2019 г. компания провела первую презентацию, в которой представила продукт – чип № 1, предназначенный для вживления в мозг, а также робота для вживления в мозг нейронитей-имплантов для обмена сигналов между мозгом и компьютером. Чип под названием Link «размером с монету» предполагается вживлять в мозг через небольшое отверстие, не оставляя внешних следов [45]. В феврале 2021 г. Илон Маск может перейти от работы на обезьянах к исследованиям на людях, компания планирует начать исследования на людях к концу года после первого упоминания о его работе с имплантатами обезьян. Последние смогли телепатически играть в видеоигру после имплантации чипа в мозг. Первые клинические исследования предполагается провести на небольшом количестве пациентов с серьезными повреждениями спинного мозга, пока что для уверенности в безопасности и работоспособности технологии. В будущем подобные устройства предполагается использовать для восстановления работоспособности пациентов с такими повреждениями – в паре с дополнительным имплантом в спинном мозгу.

Интересным стартапом предсказательной аналитики является пример предсказания смерти. В 2016 г. ученые из Стенфорда с помощью ИИ прогнозировали смерть человека в течение года [36]. Алгоритмы ИИ дали возможность помочь врачам и пациентам провести необходимые беседы о конце жизни. Многие врачи часто дают чрезмерно радужные оценки того, когда их пациенты умрут, и откладывают сложные разговоры о вариантах окончания жизни. Эта понятная человеческая особенность может привести к тому, что пациенты будут получать нежелательные, дорогостоящие и агрессивные методы лечения в больнице в момент их смерти вместо того, чтобы им было позволено умереть более спокойно в относительном комфорте. Альтернатива, тестируемая командой Стэнфордского университета, будет использовать ИИ, чтобы помочь врачам выявлять вновь поступивших пациентов, которым было бы полезно поговорить о выборе паллиативной помощи.

Уже можно не сомневаться, что, даже если какие-то гипотезы из прошлого или предсказания, связанные с возможностями ИИ, кажутся нам неправдоподобными, любая давняя идея или мечта внезапно может воплотиться в жизнь, если для этого найдется достаточно быстрый и современный компьютер. Российские разработчики создали современные системы ИИ по опре-

делению диагнозов пациентов, анализу рентгеновских снимков, хрящевой ткани и времени смерти тяжелобольных пациентов. Иностранные разработчики исследуют с помощью алгоритмов ИИ варианты возможного оказания паллиативной помощи, выявляют новые свойства ранее известных лекарств при лечении тяжелых заболеваний, внедряют системы человек – облачный компьютер с имплантацией нейрочипов, редактируют гены, анализируют изображения кожи и внутренних органов. Данные направления являются зарождением нового этапа в науке с использованием мощных компьютеров и алгоритмов. Вероятнее всего, они послужат основой для прогрессивного роста подобных технологий уже в ближайшем будущем.

Список литературы

1. Комков А.А., Мазаев В.П., Рязанова С.В., Самочатов Д.Н., Базаева Е.В. Основные направления развития искусственного интеллекта в медицине // Научное обозрение. Медицинские науки. 2020. № 5. С. 33–40.
2. Ottobock bebionic Hand. Bionics For Everyone. 2021. [Electronic resource]. URL: <https://bionicsforeveryone.com/ottobock-bebionic-hand/> (date of access: 23.11.2021).
3. Sell James. 5 Electronic Glasses for the Blind and Visually Impaired [Electronic resource] // IrisVision. 2020. [Electronic resource]. URL: <https://irisvision.com/electronic-glasses-for-the-blind-and-visually-impaired/> (date of access: 23.11.2021).
4. Паевский А. Байки из лабы: с чего начинаются роботы // Индикатор. 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://indikator.ru/engineering-science/baiki-iz-laby-s-chego-nachinayutsya-roboty.htm> (дата обращения: 23.11.2021).
5. Скобелев В., Балашова А. Сбербанк запустил сервис постановки диагноза с помощью нейросетей: Технологии и медиа // РБК. 2020. [Электронный ресурс]. URL: https://www.rbc.ru/technology_and_media/02/12/2020/5fc632f69a79471e8ce7d8a4 (дата обращения: 24.11.2021).
6. Avinash A., Abdelal A.E., Mathur P., Salcudean S.E. A «pickup» stereoscopic camera with visual-motor aligned control for the da Vinci surgical system: a preliminary study. Int. J. Comput. Assist. Radiol. Surg. 2019 147. Springer, 2019. Vol. 14. No. 7. P. 1197–1206. DOI: 10.1007/S11548-019-01955-9.
7. Tzafetas M., Mitra A., Paraskevaidi M., Bodai Z., Kalliala I., Bowden S., Lathouras K., Rosini F., Szasz M., Savage A., Manoli E., Balog J., McKenzie J., Lyons D., Bennett P., MacIntyre D., Ghaem-Maghamsi S., Takatz Z., Kyrgiou M. The intelligent knife (iKnife) and its intraoperative diagnostic advantage for the treatment of cervical disease. Proc. Natl. Acad. Sci. 2020. Vol. 117. No. 13. P. 7338 LP–7346. DOI: 10.1073/pnas.1916960117.
8. Луценко В. Медицина будущего: какие технологии позволят людям победить старость, болезни и смерть? // Forbes. 2017. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.forbes.ru/tehnologii/346539-medicina-budushchego-kakie-tehnologii-pozvoljat-lyudyam-pobedit-starost-bolezni-i> (дата обращения: 19.11.2021).
9. Alkhaldi Nadejda. 6 Ways Machine Learning-Enabled Virtual Assistants Can Serve Doctors And Patients. Medical Product Outsourcing. 2019. [Electronic resource]. URL: https://www.mpo-mag.com/contents/view_online-exclusives/2019-11-20/6-ways-machine-learning-enabled-virtual-assistants-can-serve-doctors-and-patients/ (date of access: 26.08.2021).
10. Frankel Joseph. How Artificial Intelligence Could Help Diagnose Mental Disorders. The Atlantic. 2016. [Electronic resource]. URL: https://www.theatlantic.com/health/archive/2016/08/could-artificial-intelligence-improve-psychiatry/496964/?utm_source=copy-link&utm_medium=social&utm_campaign=share (date of access: 26.11.2021).
11. Gurovich Y., Hanani Y., Bar O., Nadav G., Fleischer N., Gelbman D., Basel-Salmon L., Krawitz P.M., Kamphausen S.B., Zenker M., Bird L.M., Gripp K.W. Identifying facial phenotypes of genetic disorders using deep learning. Nat. Med. Springer US, 2019. Vol. 25. No. 1. P. 60–64. DOI: 10.1038/s41591-018-0279-0.
12. Lawman S., Williams B., Zheng Y., Shen Y. Quasi-tomography by free space line field spectral domain optical coherence reflectometry. Meas. Sci. Technol. 2020. Vol. 31. DOI: 10.1088/1361-6501/ab727e.
13. Ведяхин А. На ICML Сбер представил свои разработки на основе искусственного интеллекта в медицине // СберБанк. 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sberbank.com/ru/news-and-media/press-releases/article?newsID=1b7745bd-791f-4ad6-a0ea-f962f4a77c5f&blockID=7®ionID=77&lang=ru&type=NEWS> (date of access: 24.11.2021).
14. Искусственный интеллект в медицине // Zdrav.Expert. 2021. [Электронный ресурс]. URL: https://zdrav.expert/index.php/Статья:Искусственный_интеллект_в_медицине (дата обращения: 27.11.2021).
15. Компьютерное зрение поможет диагностировать рак // МГУ им. М.В. Ломоносова. 2020. URL: https://www.msu.ru/science/main_themes/kompyuternoe-zrenie-pomozhet-diagnostirovat-rak.html (дата обращения: 27.11.2021).
16. Шевцев Н. Рак диагностировали с помощью компьютерного зрения // Индикатор. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://indikator.ru/medicine/rak-diagnostirovali-s-pomoshyu-kompyuternogo-zreniya-29-07-2020.htm> (дата обращения: 28.11.2021).
17. Fu Y., Jung A.W., Torne R.V., Gonzalez S., Vöhringer H., Shmatko A., Yates L.R., Jimenez-Linan M., Moore L., Gerstung M. Pan-cancer computational histopathology reveals mutations, tumor composition and prognosis. Nat. Cancer. 2020. Vol. 1. No. 8. P. 800–810. DOI: 10.1038/s43018-020-0085-8.
18. Старикова М., Мишина В. «Генетические ножницы» взяли Нобелевку – Hi-Tech // Коммерсантъ. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4521285> (дата обращения: 28.08.2021).
19. Wolf D.P., Mitalipov N., Mitalipov S. Mitochondrial Replacement Therapy in Reproductive Medicine. Trends Mol. Med. NIH Public Access, 2015. Vol. 21. No. 2. P. 68. h DOI: 10.1016/J.MOLMED.2014.12.001.
20. Чичерин И.В., Левицкий С.А., Крашенинников И.А., Тарасов И., Каменский П.А. Перспективы генной терапии митохондриальных болезней: без CRISPR/Cas9 не обойтись? // ВЕСТНИК РГМУ. 2017. № 3. С. 46–51.
21. Doudna J.A., Charpentier E. The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9. Science (80-). 2014. Vol. 346. No. 6213. P. 1258096. DOI: 10.1126/science.1258096.
22. Liang P., Xu Y., Zhang X., Ding C., Huang R., Zhang Z., Lv J., Xie X., Chen Y., Li Y., Sun Y., Bai Y., Songyang Z., Ma W., Zhou C., Huang J. CRISPR/Cas9-mediated gene editing in human triploid zygotes. Protein Cell. Springer, 2015. Vol. 6. № 5. P. 363. DOI: 10.1007/S13238-015-0153-5.
23. Иванова О. Разработана новая генная терапия глухоты // Naked Science. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://naked-science.ru/article/medicine/razrabotana-novaya-genaya-terapiya-gluhoty> (дата обращения: 28.11.2021).
24. Taiber S., Cohen R., Yizhar-Barnea O., Sprinzak D., Holt J.R., Avraham K.B. Neonatal AAV gene therapy rescues hearing in a mouse model of SYNE4 deafness. EMBO Mol. Med. John Wiley & Sons, Ltd, 2021. Vol. 13. No. 2. P. e13259. DOI: 10.15252/emmm.202013259.
25. Китайские исследователи разработали нейровизуальный маркер для диагностики шизофрении // Russian. news.cn. 2020. [Электронный ресурс]. URL: http://russian.news.cn/2020-03/31/c_138935175.htm (дата обращения: 28.11.2021).

26. Esteva A., Kuprel B., Novoa R.A., Ko J., Swetter S.M., Blau H.M., Thrun S. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*. 2017. Vol. 542. No. 7639. P. 115–118. DOI: 10.1038/nature21056.
27. Brui E., Efimtcev A.Y., Fokin V.A., Fernandez R., Levchuk A.G., Ogier A.C., Samsonov A.A., Mattei J.P., Melchakova I.V., Bendahan D., Andreychenko A. Deep learning-based fully automatic segmentation of wrist cartilage in MR images // *NMR Biomed*. 2020. Vol. 33. No. 8. P. 1–13. DOI: 10.1002/nbm.4320.
28. Нейросеть Zebra-Med за один доллар поставит диагноз // *TechFusion*. 2017. [Электронный ресурс]. URL: <https://techfusion.ru/nejroset-zebra-med-za-odin-dollar-postavit-diagnoz/> (date of access: 28.08.2021).
29. Leiner T., Rueckert D., Suinesiaputra A., Baeßler B., Nezafat R., Išgum I., Young A.A. Machine learning in cardiovascular magnetic resonance: basic concepts and applications. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2019. Vol. 21. No. 1. P. 61. DOI: 10.1186/s12968-019-0575-y.
30. Stokes J.M., Yang K., Swanson K., Jin W., Cubillos-Ruiz A., Donghia N.M., MacNair C.R., French S., Carfrae L.A., Bloom-Ackerman Z., Tran V.M., Chiappino-Pepe A., Badran A.H., Andrews I.W., Chory E.J., Church G.M., Brown E.D., Jaakkola T.S., Barzilay R., Collins J.J. A Deep Learning Approach to Antibiotic Discovery. *Cell*. Elsevier Inc., 2020. Vol. 180. No. 4. P. 688–702.e13. DOI: 10.1016/j.cell.2020.01.021.
31. Daoud H., Bayoumi M.A. Efficient Epileptic Seizure Prediction Based on Deep Learning. *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.* 2019. Vol. 13. No. 5. P. 804–813. DOI: 10.1109/TBCAS.2019.2929053.
32. Lu Donna. AI can predict if you'll die soon – but we've no idea how it works. *New Scientist*. 2019. [Electronic resource]. URL: <https://www.newscientist.com/article/2222907-ai-can-predict-if-youll-die-soon-but-weve-no-idea-how-it-works/> (date of access: 28.11.2021).
33. Камалетдинов Дамир. «Модель видит то, что люди могут не заметить»: учёные из США создали нейросеть, предсказывающую скорую смерть // *TJ*. 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://tjournal.ru/tech/126206-model-vidit-to-chto-lyudi-mogut-ne-zametit-uchenye-iz-ssha-sozdali-neyroset-predskazyvayushchuyu-skoruyu-smert> (дата обращения: 28.11.2021).
34. Ивтушок Е. Нейросеть научили диагностировать депрессию по речи пациента // *N + 1*. 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://nplus1.ru/news/2018/09/01/ai-depression-detection> (дата обращения: 28.11.2021).
35. Alhanai T., Ghassemi M., Glass J. Detecting depression with audio/text sequence modeling of interviews. *Proc. Annu. Conf. Int. Speech Commun. Assoc. INTERSPEECH*. 2018. Vol. 2018-Septe, № September. P. 1716–1720. DOI: 10.21437/Interspeech.2018-2522.
36. Пиковер К. Искусственный интеллект. Иллюстрированная история. От автоматов до нейросетей. 2021. P. 1–399.
37. Cooper A., Ireland D. Designing a Chat-Bot for Non-Verbal Children on the Autism Spectrum. *Stud. Health Technol. Inform.* 2018. Vol. 252. P. 63–68. DOI: 10.3233/978-1-61499-890-7-63.
38. Pinto Costa A., Kirsten L., Charpiot L., Steffgen G. Mental health benefits of a robot-mediated emotional ability training for children with autism: An exploratory study. 2019.
39. Зуйкова А. Как искусственный интеллект помогает бороться с онкологией и старением // *РБК*. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/5ecf91929a794745fa56d851> (дата обращения: 30.11.2021).
40. AlphaFold: a solution to a 50-year-old grand challenge in biology. *DeepMind*. 2020. [Electronic resource]. URL: <https://deepmind.com/blog/article/alphafold-a-solution-to-a-50-year-old-grand-challenge-in-biology> (date of access: 23.11.2021).
41. Baricitinib, first identified by BenevolentAI as a COVID-19 treatment, is granted emergency use in India in response to its escalating crisis. *BenevolentAI*. 2021. [Electronic resource]. URL: <https://www.benevolent.com/news/baricitinib-first-identified-by-benevolentai-as-a-covid-19-treatment-is-granted-emergency-use-in-india-in-response-to-its-escalating-crisis> (date of access: 23.11.2021).
42. Kadioglu O., Saeed M., Greten H.J., Efferth T. Identification of novel compounds against three targets of SARS CoV-2 coronavirus by combined virtual screening and supervised machine learning. *Comput. Biol. Med.* 2020. Vol. 133. No. March. DOI: 10.1016/j.compbiomed.2021.104359.
43. Мировой рынок искусственного интеллекта активно растёт // *AI Новости*. 2020. [Электронный ресурс]. URL: https://ai-news.ru/2020/08/mirovoj_rynok_iskusstvennogo_intellekta_aktivno_rastet.html (дата обращения: 23.11.2021).
44. Медведева Л. Учёные предсказывают создание «интернета мыслей» // *XXII ВЕК*. 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://22century.ru/popular-science-publications/76488> (дата обращения: 10.11.2021).
45. Шапиро С. Нейроchip для передачи данных между мозгом и компьютером испытали на свиньях // *XXII ВЕК*. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://22century.ru/medicine-and-health/90731> (дата обращения: 23.11.2021).