

Искусственный интеллект для здоровьесбережения и развития личностного потенциала (Обзор)*

В.Н. Крутько^{I,II}, В.И. Донцов^I, О.В. Митрохин^{II}, А.А. Матвеев^{II},
Н.А. Ермакова^{II}, Н.С. Потемкина^I

^I Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и Управление» Российской Академии Наук», г. Москва, Россия

^{II} Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, г. Москва, Россия

Аннотация. Искусственный интеллект (ИИ) – быстро развивающийся раздел информатики. Здоровье человека, как элемент личностного потенциала, является в настоящее время одной из главных областей инвестирования в ИИ. Основной целью приложений ИИ, связанных со здоровьем, является анализ взаимосвязей между методами профилактики или лечения и результатами лечения пациентов. Были разработаны и применены на практике программы искусственного интеллекта, которые проводят диагностику и мониторинг состояния пациента, разработку протоколов лечения, разработку лекарственных средств. Развитие методов ИИ и Больших Данных открывает новые возможности здоровьесбережения, позволяя анализировать огромные объемы информации, по существу, открывают новую эру в науке и практике управления здоровьем. В предлагаемой работе приводится обзор современного состояния использования принципов и методов ИИ в области здравоохранения.

Ключевые слова: системный анализ, искусственный интеллект, большие данные, здоровье, старение, персонализированная медицина, личностный потенциал.

DOI: 10.14357/20790279200310

Введение

Искусственный интеллект (ИИ, Artificial intelligence (AI)) – раздел информатики, изучающий возможность разумных рассуждений и действий с помощью компьютеров, при этом в большинстве случаев заранее неизвестен алгоритм решения задачи. Современный ИИ – наука и технология, основанная на таких дисциплинах, как информатика, биология, психология, лингвистика, математика. Важнейшим современным направлением в ИИ является Искусственная нейронная сеть (ИНС) – математическая модель, а также её программное или аппаратное воплощение, построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей.

Это понятие возникло при изучении процессов, протекающих в мозге и при попытке смоделировать эти процессы. После разработки алгоритмов обучения получаемые модели стали использовать

в практических целях: в задачах прогнозирования, для распознавания образов, в задачах управления и др.

С математической точки зрения, обучение нейронных сетей – это многопараметрическая задача нелинейной оптимизации. Технически обучение заключается в нахождении коэффициентов связей между нейронами. Нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными данными и выходными, а также выполнять обобщение. Это значит, что, в случае успешного обучения, сеть сможет вернуть верный результат на основании данных, которые отсутствовали в обучающей выборке, а также неполных и/или «зашумленных», частично искажённых данных.

Одним из важнейших направлений развития ИИ является его взаимодействие с человеком, расширение и развитие его способностей – его личностного потенциала (ЛП). С точки зрения теории управления, ЛП отражает изменчивость чувствительности личности к условиям внешней среды и

* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, грант № 19-29-01046.

собственного физического и психического состояния. В этом смысле ЛП можно рассматривать как один из частных психических ресурсов человека. Наряду с этой группой ресурсов в интегральный потенциал личности входят физиологические, предметно-материальные и социальные ресурсы. Одни виды ресурсов могут компенсировать дефицит других. В настоящей работе ЛП рассматривается в рамках «физического» понимания потенциала личности как способности индивидуума к совершению физической и психической работы, что прямо связывает ЛП с уровнем здоровья человека.

Здравоохранение остается одной из главных областей инвестирования в ИИ и быстро развивается в настоящее время. Основной целью приложений, связанных со здоровьем человека, является анализ взаимосвязи между методами профилактики или лечения и результатами лечения пациентов. Были разработаны и применены на практике программы искусственного интеллекта, которые проводят диагностику и мониторинг состояния пациента, разработку протоколов лечения, разработку лекарственных средств и пр. [1-5] Развитие методов ИИ и Больших Данных открывает новые возможности в медицине и здоровьесбережении, позволяя анализировать огромные объемы информации, по существу, открывают новую эру в науке и практике управления здоровьем [6]. В настоящее время в ИИ используются пять основных методологий - методология с использованием ИНС, а также технологии с представлением знаний, таких как: продукции (правила вида «если – то»), фреймы, семантические сети и логический вывод. Известно, что, в отличие от технологий с представлением знаний, интерпретация результата в терминах предметной области в ИНС невозможна.

Целью работы является обзор современного состояния использования принципов и методов ИИ в сфере здравоохранения для укрепления здоровья как элемента ЛП человека.

1. Некоторые примеры использования ИИ в медицине

Способности нейронной сети к прогнозированию напрямую следуют из её способности к обобщению и выделению скрытых зависимостей между входными и выходными данными и делают ИИ мощным инструментом для целей управления здоровьем. После обучения ИНС способна предсказать будущее значение некой последовательности данных на основе нескольких предыдущих значений и (или) каких-то существующих в на-

стоящий момент факторов. Способность нейросетей к выявлению взаимосвязей между различными параметрами дает возможность выразить данные большой размерности более компактно, если данные тесно взаимосвязаны друг с другом. В настоящее время существует проблема создания и функционирования единого информационного медицинского пространства, включающего информацию с электронных медицинских карт, персональных карт здоровья человека и данные мониторинга физиологических параметров организма. Мобильное здравоохранение и различные аспекты телемедицинских технологий, в частности, внутриспитальная телемедицина, являются компонентами единой системы электронного здравоохранения. Анализ мониторируемых витальных показателей должен осуществляться в автоматическом режиме с использованием систем поддержки принятия решений [7].

Автоматическая обработка текста электронных карт помогает врачам в получении обзора свободной текстовой информации при текущем уходе, а также в написании окончательных сводок выписки [8]. ИИ позволяет автоматически экстрагировать тексты из карт пациентов различных медицинских учреждений [9].

Широко развиваемые технологии визуализации и распознавания образов с использованием ИНС делает ИИ широко применимым для программ автоматического анализа рентгеновских снимков, МРТ и пр. [10].

Использование ИИ является в настоящее время мощным инструментом в распознавании образов, идентификации визуальных объектов, распознавания речи и других областях, требующих иерархического анализа входных данных. Последние обнадеживающие примеры в области анализа биомедицинских сигналов включают использование нейронных сетей, обучающихся в процессе работы, для анализа ЭКГ, выявлении аритмий [11], выбора биомаркеров для оценки возраста с использованием клинического анализа крови [12], электронных медицинских датчиков-регистраторов [13], а также для предсказания вероятности смерти с использованием методов радиологии [14]. Предложен подход к программной реализации модели представления медицинских знаний при создании медицинской экспертной системы дифференциальной диагностики [15].

ИИ с успехом используется для целей диагностики и лечения отдельных болезней. Описано использование ИИ для оптимизации чувствительности и специфичности системы поддержки принятия решений, основанной на онтологиях, для

диагностики инфекционных заболеваний и антибактериальной терапии. Так, например, система IDDP определяет потенциальные инфекционные заболевания и состояние болезни, а затем ищет и предлагает соответствующую антибактериальную терапию, специально адаптированную для пациента, на основе таких факторов, как температура тела пациента, места инфекции, симптомы/признаки, осложнения, антибактериальный спектр, противопоказания, лекарственные взаимодействия между предлагаемой терапией и ранее назначенным лекарством, а также маршрут ведения терапии. Построенная онтология предметной области содержит 1267004 классов, 7608725 аксиом и 1266993 членов «подкласса», относящихся к инфекционным заболеваниям, бактериям, синдромам, антибактериальным препаратам и другим соответствующим компонентам; включает 507 инфекционных заболеваний и их методов лечения, 370 видов осложнений, 838 тысяч видов бактерий, 340 видов антибиотиков, 1500 пар скоростей реакций (антибактериальный спектр) между антибиотиками и бактериями, 430 пар лекарственных взаимодействий [16].

ИИ, сконструированный с интуитивными правилами логики, основанными на опыте врача-клинициста, использовали для назначения и контроля подачи анестетика при хирургических вмешательствах [17].

Описан метод и алгоритм решения задачи медицинской диагностики заболеваний пищевыми аллергиями с использованием интеллектуального анализа данных [18].

На основе использования методов искусственного интеллекта разработана математическая формула и определена ее эффективность при расчете давности наступления смерти по тимпанической термометрии [19].

Представлен подход для персонализированного прогнозирования эффективности назначаемого пациенту рецепта на базе рекуррентных нейронных сетей, которые используют последовательность всех предыдущих записей в качестве входных данных, что повышает эффективность индивидуальных назначений препаратов при диабете 2-го типа [20]. Также ИИ использован для выявления групп риска диабетической ретинопатии, которая является одним из наиболее распространенных сопутствующих заболеваний диабета [21].

Применение ИИ на основе Байесовской модели, различных типов деревьев решений, искусственных нейронных сетей и ансамблевого обучении в диагностике нефролитиаза показало значимость таких параметров, как пол, кислот-

ность мочи, уровень кальция, гипертония, диарея, тошнота и рвота, боль в фалангах и инфекция мочевыводящих путей. Построенная ансамблевая модель (точность 97%) надежна и безопасна, применима для прогнозирования шансов развития нефролитиаза. Модель обеспечивает новый способ изучения мочекаменной болезни путем расшифровки сложного взаимодействия между различными биологическими переменными, что помогает в ранней идентификации и сокращении времени диагностики [22].

Три типа сетей: сети для числового прогнозирования; сети для прогнозирования вспышек и сети, включающие пространственную автокорреляцию, - были использованы в эпидемиологии для моделирования и прогнозирования малярии и других трансмиссивных заболеваний [23].

Синергетические комбинации лекарств являются перспективными методами лечения рака, но достаточно сложной задачей, поскольку механизмы синергизма лекарственных средств до сих пор не ясны. Применение ИИ позволило оценить физико-химические и сетевые характеристики препарата, в том числе расстояние до мишени в белково-белковой сети и сходство целевого пути, а также 15 фармако-геномных характеристик с использованием профилей экспрессии генов, обработанных лекарственными препаратами. Построенная модель прогнозирования эффективности синергетической комбинации лекарственных средств с использованием алгоритма дерева случайностей (SyDRa) достигла хорошей эффективности, также были определены 28 конкретных перспективных синергетических комбинаций лекарств [24].

Предложена математическая модель для прогнозирования вероятности выживания органов для каждой пары донор-реципиент [25].

Лечение пациентов с множественными заболеваниями является сложной задачей. Использовали методы ИИ для выявления взаимодействий между рекомендациями, вытекающими из различных руководящих принципов, что создает новые возможности при лечении полиморбидных состояний [26].

ИИ является идеальным средством для решения проблем генетики, в частности, для оценки паттернов геной экспрессии, когда имеются тысячи генов. Использование мультимодельной структуры генерации данных, в которой различные модели регуляторной сети генов (GRN) вносят свой вклад в окончательный набор образцов, позволило отобрать наиболее эффективные модели и алгоритмы, а именно: обыкновенные дифференциальные уравнения, вероятностные Булевы сети, многоце-

левой генетический алгоритм и иерархическую Марковскую модель [27].

ИИ с успехом применяется в спорте. Разработана компьютерная программа, предназначенная для прогнозирования результатов зимней Олимпиады в мужском одиночном фигурном катании 2014 года. В основе программы лежит нейронная сеть персептронного типа, обученная на результатах предыдущих чемпионатов мира. Программа позволяет оценивать влияние параметров, характеризующих спортсменов, на их спортивные результаты, а также подбирать оптимальные сочетания этих параметров для каждого спортсмена, обеспечивающие получение максимальных спортивных результатов [28].

2. Ведущие компьютерные компании в разработке ИИ для медицины

Ведущие компьютерные компании мира подключаются к использованию ИИ в медицине и здоровьесбережении.

Компания **IBM** разрабатывает системы в области лечения онкологии, а также проводит совместную работу с Джонсон & Джонсон в области исследования и лечения хронических заболеваний.

Корпорация **Microsoft** занимается разработкой наиболее эффективных лекарств и методов лечения от рака. Проект включает в себя анализ медицинских изображений опухолей и математический анализ развития клеток.

Платформа **DeepMind** компании **Google** используется Национальной службой здравоохранения Великобритании, чтобы обнаружить определенные риски для здоровья на основе данных, собранных через мобильные приложения. Второй проект включает в себя анализ медицинских изображений, полученных от пациентов, для разработки алгоритмов «компьютерного зрения» для обнаружения раковых тканей.

Корпорация **Intel** разрабатывает программы с ИИ, которые определяют пациентов, входящих в группу риска, и предлагают вариант лечения.

Компания **Medtronic** совместно с **IBM** разрабатывает приложение для людей, страдающих сахарным диабетом. Приложение будет способно определить критическое снижение уровня сахара в крови за 3 часа до наступления события. Для этого используют данные с глюкометров и инсулиновых помп от 600 анонимных пациентов. Отслеживать своё здоровье люди смогут с помощью специального приложения и носимых медицинских устройств.

В начале 21 века одной из самых ярких раз-

работок стал совместный проект **Вашингтонского университета**, **Intel** и компании **Elite Care** по проектированию системы ИИ, которая могла бы заботиться о пациентах, страдающих болезнью Альцгеймера и повышать качество их жизни. Данная система поможет больным восстанавливать необходимые навыки для решения повседневных задач. Сегодня ученые надеются, что с помощью искусственного интеллекта уже в ближайшем будущем возможно будет прийти к сверхточной (или прецизионной) медицине, в рамках которой появится возможность назначать индивидуальное лечение каждому отдельному человеку, учитывая его уникальные генетические и другие особенности. В США уже объявили о запуске пилотных проектов по развитию прецизионной медицины. Так, к 2019 году предполагалось отобрать 1 млн добровольцев, для участия специального научного исследования. Оно должно показать взаимосвязь между образом жизни, окружающей средой, экономическим и социальным статусом, генетикой и состоянием здоровья. Полученный таким образом огромный массив медицинских данных можно будет обработать с помощью ИИ. Еще до недавнего времени не было ни достаточно мощных компьютеров, способных обработать такое количество информации, ни, собственно, самих данных. В ближайшие 4 года США планирует потратить на исследования в этой области порядка \$1 млрд [29].

Технологические гиганты, типа **Google**, **Amazon**, **Microsoft** и **Apple**, инвестируют огромные суммы в развитие искусственного интеллекта для создания персонализированных систем поиска необходимой человеку информации или виртуальных персональных ассистентов. Главный игрок на этом рынке – компания **IBM** и ее знаменитый суперкомпьютер **Watson**, оснащенный системой ИИ. Только для его обучения IBM в прошлом году приобрела 30 млрд медицинских снимков, поглотив компанию **Merge Healthcare** за \$1 млрд. К процессу обучения могут добавиться 50 млн анонимных электронных медицинских карт, которые IBM получила в свое распоряжение, также купив стартап **Explorys** [30].

IBM Watson for Oncology – программа применения мощностей IBM Watson для определения оптимальной стратегии лечения рака, основанной на больших данных и методах доказательной медицины. Для обучения ИИ в Watson были загружены сотни тысяч медицинских документов, в том числе 25 тысяч историй болезни, более 300 медицинских журналов и более 200 учебников, всего около 15 млн. страниц текста. С 2013 года IBM Watson for Oncology используется в Мемориальном онкологиче-

ческом центре им. Слоуна-Кеттеринга в Нью-Йорке (Memorial Sloan Kettering Cancer (MSK)) для помощи в принятии управленческих решений при лечении больных раком лёгких и уходе за ними. Его база постоянно пополняется новыми историями болезни. В июле 2016 года программа IBM Watson for Oncology была запущена в коммерческую эксплуатацию на базе Manipal Hospitals (ведущая сеть больниц в Индии) для помощи врачам и пациентам в определении персонализированных методик борьбы с раком. Также сеть Manipal Hospitals предлагает онкологическим больным узнать «мнение Watsona» онлайн, на своём веб-сайте [31]; IBM и MSK планируют в ближайшее время обучить IBM Watson for Oncology лечению ещё 9 типов рака, покрыв тем самым потенциально 80% заболеваемости раком в мире.

IBM Medical Sieve (проект в стадии разработки) предполагает оценивать результаты МРТ, рентгеновских снимков, кардиограмм, что позволит врачу тратить значительно меньше времени на интерпретацию изображений, при этом точность компьютерного анализа в среднем выше, что позволит выявить дефекты и новообразования, которые врач может пропустить [32, 33].

Google DeepMind Health – подпроект **Google DeepMind**, применяющий технологии ИИ в медицине. В данный момент известно о сотрудничестве **DeepMind Health** с лондонской больницей «Мурфилдс Ай» (Moorfields Eye Hospital). Тысячи анонимных глазных снимков будут проанализированы с целью, найти первичные симптомы слепоты. Также, в сотрудничестве с больницей Университетского колледжа Лондона (University College London Hospital), ИИ будет задействован в проекте по разработке алгоритма, который сможет автоматически различать здоровые и раковые ткани в области головы и шеи [34].

Из психиатрической практики известно, что психические расстройства обычно сопровождаются определёнными речевыми изменениями. Люди, когда говорят, сообщают значение произносимого не только словами, но и интонацией, промежутками между словами, скоростью и громкостью речи. **NeuroLexico** – проект обучения нейронных сетей с целью получения соответствий между речевыми паттернами и диагнозами, чтобы сделать процесс установления диагноза более быстрым и точным [35].

Face2Gene – программа, позволяющая диагностировать по фото многие генетические заболевания (в основном, у детей). Целевая аудитория – практикующие врачи и исследователи [36, 37].

Human Diagnosis project (Human Dx) – амбициозная инициатива молодых врачей из Сан-Фран-

циско, сочетающая, по их словам, «усилия коллективного разума» и машинное обучение. На сайте Human Dx утверждается, что это «крупнейший проект в мире по числу участвующих авторов-клиницистов». Предполагается, что здесь будут собраны описания симптомов, результаты медосмотров, личные и семейные медицинские истории, показания диагностических приборов и носимых устройств, результаты лабораторных исследований, медицинские визуализации, генетические и эпигенетические данные, научные публикации в области биомедицинских наук, медицинская статистика и т. п. На основе всего этого будет разработана фундаментальная структура данных, к которой сможет обращаться любой врач, пациент, исследователь, вообще любые люди, организации, устройства или приложения [38].

3. ИИ-программы «домашнего стационара»

В настоящее время фокус лечения сместился с острых заболеваний, распространённость которых, благодаря прогрессу в медицине за последнее столетие, удалось значительно сократить, на хронические. Хроническим больным необходимо быть постоянно осведомлёнными о состоянии собственного здоровья и им на помощь приходят носимые устройства, которые позволяют проводить постоянный мониторинг пульса, давления, дыхания и других показателей здоровья. Эти устройства, анализируя полученные данные, извещают владельцев о действиях, которые необходимо совершить в данный момент – принять лекарство, изменить тип физической активности и т. д. Показатели, снимаемые этими приборами, могут передаваться через смартфон непосредственно врачу, который может давать рекомендации по ходу изменения показателей. Простейшие советы могут быть «защиты» непосредственно в приложениях и реагировать на получаемые данные автономно и быстро. Но главное, с помощью таких носимых устройств и мобильных приложений можно собирать большие массивы данных, по мере роста которых будет расти и качество работы обучающегося на них ИИ.

Sense.ly (iOS, Android) – это «приложение-медсестра». На экране телефона – анимированное изображение медсестры, она спрашивает, как вы сегодня себя чувствовали, хорошо ли спали, в норме ли давление, нет ли жалоб. Отвечать можно вслух – ИИ распознаёт речь и сразу же отправляет информацию лечащему врачу. Если в ответе есть триггеры, соответствующие тем или иным симптомам, на экран будет выведена краткая справка по

ним, после чего «сестра» напомнит о приёме лекарств и необходимых процедурах или поинтересуется, не хотите ли вы связаться с врачом. Если хотите, приложение немедленно соединит вас по видеосвязи [39].

Babylon Health (iOS, Android) – мобильное приложение, позволяющее из любой точки Земного шара, в любой день и любое время суток получить онлайн-консультацию британского или ирландского врача с врачебным стажем не менее 10 лет. Перед консультацией можно пройти, здесь же, в приложении, простой тест, а также загрузить параметры ежедневной активности, в т.ч. непосредственно с различных носимых устройств. Система анализирует данные, выдаст предварительный диагноз и, учитывая это, порекомендует наиболее подходящего врача. По данным разработчиков, практика показывает, что предварительные диагнозы Babylon Health уже сейчас ставят не хуже опытного терапевта [40].

Получение информации из средств медиа по наркотическим средствам является важной, но трудоемкой задачей из-за экспертно-зависимого, трудоемкого и дорогостоящего процесса аннотирования, а также высокой размерности пространства характеристик данных социальных сетей. Использование ИИ показывает повышение эффективности извлечения такой информации, обеспечивая тем самым более надежную поддержку фармакологического надзора [41].

Стремительный рост социальных сетей обеспечил легкий доступ для потребителей информации по здравоохранению. Многие пациенты часто используют эти социальные сайты для информационной и эмоциональной поддержки. Однако, потребители медицинских услуг могут быть легко перегружены избыточной информацией. Использование ИИ показывает, что методы, основанные на содержании, могут эффективно фиксировать сходство неактивных пользователей, которые обычно имеют сфокусированные интересы, в то время как структурные методы могут достигать лучшей производительности при наличии богатой структурной информации. Локальный структурный подход учитывает только прямые соединения между узлами сети, в то время как глобальный структурный подход учитывает косвенные связи. Подход глобального сходства может иметь дело с разреженными сетями и фиксировать неявное сходство между двумя пользователями [42].

Методы ИИ используются для оценки состояния сердечно-сосудистой и дыхательной систем с использованием носимых устройств в ходе обычной жизни [43].

Интернет стал платформой для выражения индивидуальных настроений и чувств в повседневной жизни, что дает широкие возможности как для социальной оценки настроений в обществе, так и для медицинских целей – выявления признаков депрессии и проведения профилактических мер [44].

4. ИИ для научных исследований в области медицины

Помимо клинической практики, ИИ находит применение в проведении биомедицинских исследований. Например, система машинного обучения может использоваться для проверки совместимости лекарств или для анализа генетического кода и вообще для любых задач, требующих глубокого обучения, поиска корреляций в больших данных, визуального и аудиального распознавания и т. п.

Deep Genomics – проект системы, которая позволит изучать, предсказывать и интерпретировать, как генетические вариации изменяют важные внутриклеточные процессы, такие как транскрипция, сплайсинг и др. Изменения в этих процессах могут вести к болезням, а, соответственно, понимание причины болезни может сделать терапию более эффективной [45].

В начале марта 2015 года Apple представила программную платформу **ResearchKit**, которая сможет снимать медицинские показания с миллионов владельцев iPhone и других мобильных устройств компании. С новым программным обеспечением Apple получает возможность принимать данные о здоровье пользователей, которые захотят поделиться ими с компанией, и передавать их для использования в медицинских исследованиях. Платформе ResearchKit можно будет дать разрешение на использование микрофона, камеры, сенсорного экрана и акселерометра. С их помощью смартфон сможет проверять почерк, дрожание рук и голоса, темп и шаткость походки, уровень двигательной активности, измерять сердечный ритм и ритм дыхания и т.п. Кроме того, приложение можно будет настроить на работу с внешними устройствами некоторых производителей (весами, глюкометрами, пикфлоуметрами), с помощью которых можно будет измерять вес, содержание сахара в крови и пиковую скорость выдоха. Создавая новую платформу, Apple заключила соглашения со многими известными медицинскими центрами, занимающимися исследованиями болезни Паркинсона, рака груди, заболеваний сердца и сосудов, сахарного диабета и астмы. Предполагается, что информация, полученная с сотен миллионов «яблочных» смартфонов, поможет учёным продви-

нуться в борьбе с этими опасными заболеваниями. Приложение будет не только собирать данные, но и осуществлять предварительную постановку диагноза и оценку эффективности терапии людей, уже страдающих от того или иного заболевания. Важно и то, что распространяться ResearchKit будет как ПО с открытым исходным кодом (open source). То есть, энтузиасты смогут его улучшать, а другие вендоры получат возможность портировать его на свои платформы, превратив поток сбора медицинских данных для исследований в явление по-настоящему глобальное [46].

DeepMind - базирующаяся в Лондоне компания-разработчик искусственного интеллекта (приобретённая в 2014 году Google), запустила проект по обучению нейронных сетей распознаванию признаков болезней глаз на медицинских снимках. Партнёрство с Глазной клиникой Мурфилдс (Moorfields Eye Hospital) в Лондоне дало компании доступ к почти миллиону снимков радужной оболочки глаза, которые DeepMind заложит в свою систему искусственного интеллекта. Проект ориентирован на два из наиболее распространённых заболеваний глаз – возрастную дегенерацию жёлтого пятна и диабетическую ретинопатию. Более 100 миллионов человек в мире страдают от этих заболеваний [47].

Учёные Массачусетского технологического института (Massachusetts Institute of Technology) разработали алгоритм, который диагностирует болезнь Паркинсона с помощью обычной компьютерной клавиатуры [48].

ИИ поможет предотвратить внезапную смерть в больницах США. Для обучения нейросети разработчики использовали данные из медицинских карт 10 тысяч человек. Использовалась информация о самочувствии пациентов с разным состоянием здоровья и различными заболеваниями во время непрерывного ношения фитнес-трекера. При этом их состояние фиксировалось во время физических нагрузок, в состоянии покоя, после резкого увеличения сердцебиения и так далее, что сопоставлялось с данными медицинских историй и показателями анализов. В результате ИИ выявил группы повышенного риска заболеваемости и смертности точнее, чем традиционные методы. В компании разработали прототип мобильного приложения на основе алгоритма Gero Lifespan, бета-версию которого уже можно установить на смартфон. Система Wave Clinical Platform будет отслеживать физиологические показатели пациентов в больницах и предсказывать резкое ухудшение состояния. Алгоритм предупредит медиков о предстоящем сердечном приступе или остановке дыха-

ния за 6 часов до происшествия. Разработка уже получила разрешение американского медицинского регулятора. Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (FDA) выдало компании ExcelMedical разрешение на использование алгоритма для предотвращения кризисных состояний у пациентов американских больниц. Программа Wave Clinical Platform стала первой ИИ-системой для медицинского прогнозирования смерти, которую разрешили применять в США [49].

5. ИИ в исследованиях старения и факторов долголетия

Множественные изменения функций организма в процессе старения и множество средств, используемых с древности для влияния на процесс старения, делают ИИ незаменимым в данной области. Разработчики из российской компании Gero представили нейросеть, способную предсказать вероятность смерти для индивидуального человека. Для этого ИИ использует долговременные наблюдения фитнес-трекера, дающие данные об определенных аспектах физического состояния человека. Технология учитывает также, то, что старение сопровождается увеличением риска заболеваний и вероятности смерти от них. ИИ учитывает биологический возраст (БВ) человека, а также парциальные БВ его тканей и органов. Расхождения между календарным возрастом (КВ) и БВ для отдельных органов могут помочь в прогнозе заболеваемости и выборе профилактических направлений противодействия старению и возрастным заболеваниям [50].

Известно, что состав микробиоты кишечника изменяется с возрастом, однако, немногие исследования использовали молекулярные методы для того, чтобы изучить эти возрастные изменения микробиоты. С помощью ИИ исследовали возрастные изменения состава микробиоты кишечника японцев в диапазоне от новорожденных до 100-летних. Фекальные образцы 367 здоровых японских пациентов в возрасте от 0 до 104 лет были проанализированы с помощью высокопроизводительного секвенирования ДНК из области V3-V4 гена 16s рРНК. Анализ, основанный на группах бактериального соизмерения (CAGs), определенных корреляциями Кендалла между родами, показал, что некоторые переходные типы микробиоты были обогащены у младенцев, взрослых и пожилых людей. Положительные корреляции между относительным содержанием родов наблюдались в ассоциированных с пожилыми людьми CAGs, в от-

личии от ассоциированных с младенцами и взрослыми САGs. Иерархическая кластеризация связей Уорда указывала на пять кластеров с медианными возрастными 3 (0-35), 33 (24-45), 42 (32-62), 77 (36-84) и 94 (86-98) года [51].

ИИ с использованием машинного обучения был использован для исследования связи ДНК-метилирования с возрастом. 1156 образцов цельной крови (в возрасте 2-90 лет) было проанализировано с помощью общегеномных платформ метилирования Illumina (27K/450K). Применяя ступенчатую регрессию для отбора переменных, были определены 23 из этих сайтов CpG, которые могли бы внести значительный вклад в модель для прогнозирования возраста. Множественный регрессионный анализ, проведенный с этими маркерами, обеспечил точное предсказание возраста ($r^2 = 0,92$, средняя абсолютная ошибка = 4,6 года). Применение машинного обучения и обобщенной регрессионной модели нейронной сети позволило значительно улучшить прогноз ($r^2 = 0,96$ и средняя ошибка = 3,3 года). Подход машинного обучения использует 16 CpG сайтов, расположенных в 16 различных геномных регионах. Лучшими предикторами являлись гены NHLRC1, SCGN и CSNK1D. Предложенная модель была дополнительно проверена с помощью независимых когорт 53 монозиготных близнецов (что дало среднюю ошибку 7,1 года) и когорты 1011 больных из государственных клиник (средняя ошибка составила 7,2 года). Данный подход был применен и для других маркеров, отличных от показателей крови, например, с аналогичной точностью, для 265 проб слюны ($r^2 = 0,96$ со средней ошибкой = 3,2 года) [52].

Был разработан модульный ансамбль из 21 глубокой нейронной сети (ГНС) различной глубины, структуры и оптимизации для прогнозирования возраста человека с использованием данных анализа крови. Для обучения ГНС использовали более 60 000 образцов из общей биохимии крови и тестов на количество клеток крови из обычных медицинских проб, выполненных одной лабораторией и связанных с хронологическим возрастом и полом. Самые эффективные ГНС в ансамбле продемонстрировали 81,5 % успешность (с точностью $r^2 = 0,80$) для прогноза хронологического возраста. Было выделено также 5 важнейших маркеров для прогнозирования хронологического возраста человека: альбумин, глюкоза, щелочная фосфатаза, мочевины и эритроциты. Для широкого тестирования и оценки реальной производительности предиктора была разработана онлайн-система, доступная по адресу <http://www.aging.ai>. Ансамблевый подход может способствовать интеграции мультимодаль-

ных данных, связанных с хронологическим возрастом и полом, что может привести к простым, минимально инвазивным и доступным методам отслеживания интегрированных биомаркеров старения человека и выполнения анализа важности признаков [53].

С увеличением продолжительности жизни увеличивается и число пациентов с болезнью Альцгеймера, что к 2050 году затронет более 100 миллиона человек. Автоматический, непрерывный и ненавязчивый метод раннего обнаружения необходим для улучшения качества жизни пациентов и избежания больших затрат на здравоохранение. Использование ИИ позволяет рассмотреть обширный перечень психологических, физиологических, поведенческих и когнитивных измерений, которые могут быть использованы для обнаружения заболевания. В поддержку социальным работникам при работе с пожилыми разработан «менеджер деятельности в свободное время» на основе расширенной когнитивной платформы Life Assistant, включающей социальную эмоциональную модель [54].

6. Разработки ФИЦ ИУ РАН в области применений ИИ в медицине и здоровьесбережении.

Значительный вклад в развитие теории и практики применений искусственного интеллекта в медицине и здоровьесбережении внес Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, где под руководством профессора Г.С. Осипова и академика РАН Г.И. Назаренко был получен целый ряд заслуживающих внимание результатов в данной области, в частности, существенное развитие получила теория медицинских технологических процессов [55, 56].

Создана интеллектуальная система прогнозирования развития сахарного диабета у больных хроническим панкреатитом [57] на основе применения ДСМ-метода автоматизированной поддержки научных исследований (ДСМ-метода АПНИ), реализованного в компьютерной интеллектуальной системе (ИС-ДСМ). Полученные результаты имеют информативную клиническую интерпретацию и являются свидетельством полезности интеллектуального анализа данных посредством ИС-ДСМ, которая может применяться как инструмент доказательной медицины.

Были разработаны методы семантического анализа текстовых сообщений в социальных сетях [58], с помощью которых удается выявить ранние стадии ряда психических расстройств, в частности наиболее социально значимого заболевания – депрессии.

Данные методы были внедрены в созданный прототип интеллектуальной системы здоровьесбережения (ИнСиЗ) [59], позволяющей дистанционно определять уровни психических и физических резервов человека и автоматически генерировать корректирующие здоровье рекомендации.

Была разработана новая модель консилиума специалистов, представляющая объект диагностики с позиций различных экспертов и влекущая целостное восприятие организма пациента при диагностике, на основе которой с применением методов ИИ создана интеллектуальная система автоматизированной диагностики артериальной гипертензии и генерации рекомендаций по ее коррекции [60].

Заключение

В работе представлен обзор современных методов ИИ в здоровьесбережении как элементе личностного потенциала. Показано, что здравоохранение является одной из главных областей инвестирования в исследования и разработки с использованием ИИ. Ведущие компьютерные компании мира подключаются к использованию ИИ в медицине и здоровьесбережении. Разрабатываются системы в области диагностики и лечения хронических заболеваний, в частности, онкологических; создаются алгоритмы оценки рисков заболеваний и смерти на основе данных, собранных через мобильные приложения, в том числе, при сахарном диабете с оперативным контролем уровня сахара крови и контролем приема лекарств; ИИ заботятся о больных, страдающих болезнью Альцгеймера для восстановления необходимых навыков для решения повседневных задач; разрабатываются подходы к сверхточной (прецизионной) медицине с возможностью назначения индивидуального лечения, учитывая уникальные генетические и другие особенности пациента. Инвестируются огромные суммы в ИИ для развития персонализированных систем поиска и автоматического анализа необходимой пациенту информации, в том числе с помощью виртуальных персональных ассистентов; развиваются системы для определения оптимальной стратегии лечения различных заболеваний и контроля лечения, в том числе в условиях «домашнего стационара»; создаются алгоритмы и приложения для диагностики и профилактики старения и возрастных заболеваний. Таким образом, развитие методов ИИ и Больших Данных открывает новые широкие возможности в медицине и здоровьесбережении.

Литература

1. Волчек Ю.А., Шишко О.Н., Спиридонова О.С., Мохорт Т.В. Положение модели искусственной нейронной сети в медицинских экспертных системах// JUVENIS SCIENTIA. 2017. № 9. С. 4-9.
2. Покидова А.В. Искусственный интеллект в медицине// Достижения науки и образования. 2018. № 1(23). С. 9-11.
3. Голухова Е.З. От клинических исследований к инновационным технологиям// Креативная кардиология. 2017. Т. 11ю № 3. С. 192-201.
4. Карпов О.Э., Клименко Г.С., Лебедев Г.С. Применение интеллектуальных систем в здравоохранении// Современные наукоемкие технологии. 2016. № 7-1. С. 38-43.
5. Buch V.H., Ahmed I., Maruthappu M. Artificial intelligence in medicine: current trends and future possibilities//Br J Gen Pract. 2018. Vol. 68. N 668. P. 143-144.
6. Yang C.C., Veltri P. Intelligent healthcare informatics in big data era// Artif Intell Med. 2015. Vol. 65. N. 2. P. 75-77.
7. Кобринский Б.А. Единое информационное пространство: e-health и m-health// Врач и информационные технологии. 2016. № 4. С. 57-66.
8. Moen H., Peltonen L.M., Heimonen J., Airola A., Pahikkala T., Salakoski T., Salanterä S. Comparison of automatic summarisation methods for clinical free text notes// Artif Intell Med. 2016. Vol. 67. P. 25-37.
9. Hassanpour S., Langlotz C.P. Information extraction from multi-institutional radiology reports// Artif Intell Med. 2016. Vol. 66. P. 29-39.
10. Фраленко В.П., Шустова М.В. Программный комплекс для автоматического выделения, визуализации и расчета информативных характеристик областей интереса в биомедицинских данных МРТ// Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2017. № 4. С. 255-262.
11. Rajpurkar P., Hannun A.Y., Haghpanahi M., Bourn C., Ng A.Y. Cardiologist-level arrhythmia detection with convolutional neural networks. arXiv preprint arXiv. 2017. 1707.01836.
12. Cohen A.A., Morissette-Thoma, V., Ferrucci, L., Fried, L. P. Deep biomarkers of aging are population-dependent// Aging (Albany NY). 2016. Vol. 8. N. 9. P. 2253-2255.
13. Wang Z., Li L., Glicksberg B.S., Israel A., Dudley J.T., Ma'ayan A. Predicting age by mining electronic medical records with deep learning characterizes differences between chronological and physiological age//J Biomed Inform. 2017. N

76. P. 59-68.
14. *Oakden-Rayner L., Carneiro G., Bessen T., Nascimento J.C., Bradley A.P., Palmer L.J.* Precision Radiology: Predicting longevity using feature engineering and deep learning methods in a radiomics framework// *Sci Rep.* 2017. Vol. 7. N.1. P.1648.
 15. *Ле Н.В., Камаев В.А., Панченко Д.П., Труш-кина О.А.* Модель представления знаний при создании медицинской экспертной системы дифференциальной диагностики// *Известия Волгоградского государственного технического университета* 2014. Т. 20. №. 6. С. 41-50.
 16. *Shen Y., Yuan K., Chen D., Colloc J., Yang M., Li Y., Lei K.* An ontology-driven clinical decision support system (IDDAP) for infectious disease diagnosis and antibiotic prescription// *Artif Intell Med.* 2018. N 86. P. 20-32.
 17. *Mendez J.A., Leon A., Marrero A., Gonzalez-Cava J.M., Reboso J.A., Estevez J.I., Gomez-Gonzalez J.F.* Improving the anesthetic process by a fuzzy rule based medical decision system// *Artif Intell Med.* 2018. N 84. P. 159-170.
 18. *Покидьшиева Л.И., Борисова И.В., Русанова О.А., Савицкая М.В.* Алгоритм решения задачи медицинской диагностики заболеваний пищевой аллергии// *Международный исследовательский журнал.* 2015. №.1-2(41). С. 99-102.
 19. *Кузовков А.В., Вавилов А.Ю.* Объективизация диагностических алгоритмов установления давности смерти человека по динамике тимпанической температуры//*Современный проблемы науки и образования.* 2017. № 2. С.12.
 20. *Kang S.* Personalized prediction of drug efficacy for diabetes treatment via patient-level sequential modeling with neural networks// *Artif Intell Med.* 2018. N 85. P. 1-6.
 21. *Saleh E., Blaszczyński J., Moreno A., Valls A., Romero-Aroca P., de la Riva-Fernández S., Słowiński R.* Learning ensemble classifiers for diabetic retinopathy assessment//*Artif Intell Med.* 2018. N 85. P. 50-63.
 22. *Kazemi Y., Mirroshandel S.A.* A novel method for predicting kidney stone type using ensemble learning//*Artif Intell Med.* 2018. N 84. P. 117-126.
 23. *Haddawy P., Hasan A.H.M.I., Kasantikul R., Lawpoolsri S., Sa-Angchai P., Kaewkungwal J., Singhasivanon P.* Spatiotemporal Bayesian networks for malaria prediction// *Artif Intell Med.* 2018. N 84. P. 127-138.
 24. *Li X., Xu Y., Cui H., Huang T., Wang D., Lian B., Li W., Qin G., Chen L., Xie L.* Prediction of synergistic anti-cancer drug combinations based on drug target network and drug induced gene expression profiles// *Artif Intell Med.* 2017. N 83. P. 35-43.
 25. *Dorado-Moreno M., Pérez-Ortiz M., Gutiérrez P.A., Ciria R., Briceño J., Hervás-Martínez C.* Dynamically weighted evolutionary ordinal neural network for solving an imbalanced liver transplantation problem//*Artif Intell Med.* 2017. N 77. P. 1-11.
 26. *Zamborlini V., da Silveira M., Pruski C., Ten Teije A., Geleijn E., van der Leeden M., Stuiver M., van Harmelen F.* Analyzing interactions on combining multiple clinical guidelines// *Artif Intell Med.* 2017. N 81. P. 78-93.
 27. *Sirin U., Erdogan U., Polat F., Tan M., Alhajj R.* Effective gene expression data generation framework based on multi-model approach// *Artif Intell Med.* 2016. N. 70. P. 41-61.
 28. *Ясницкий Л.Н., Внукова О.В.* Прогноз результатов олимпиады-2014 в мужском одиночном фигурном катании методами искусственного интеллекта// *Современные проблемы науки и образования.* 2014. №. 1. С. 189.
 29. Искусственный интеллект в медицине: главные тренды в мире https://medaboutme.ru/zdorove/publikacii/stati/soveti_vracha/iskusstvennyy_intellekt_v_meditsine_glavnye_trendy_v_mire/?utm_source=copypaste&utm_medium=referral&utm_campaign=copypaste
 30. MedAbout. <https://medaboutme.ru/zdorove/> (Available: 16.11.2015).
 31. Watsononcology. <https://watsononcology.manipalhospitals.com/> (Available: 16.11.2015).
 32. *Amit G., Purdie T.G.* Automated planning of breast radiotherapy using cone beam CT imaging// *Medical Physics.* 2015. Vol. 42. N. P. 770-779.
 33. MedicalSieve – IBM. https://researcher.watson.ibm.com/researcher/view_group.php?id=4384. (Available: 16.11.2015).
 34. Deepmind. <https://deepmind.com/applied/deepmind-health/>. (Available: 16.11.2015).
 35. Neurolex. <https://www.neurolex.ai/>. (Available: 16.11.2015).
 36. Face2gene. <https://www.face2gene.com/>. (Available: 16.11.2015).
 37. *Hadj-Rabia S., Schneider H., Navarro E., Klein O., Kirby N., Huttner K., Wolf L., Orin M., Wohlfart S., Bodemer C., Grange D.K.* Automatic recognition of the XLHED phenotype from facial images// *Am J Med Genet A.* 2017. Vol. 173. N. 9. P. 2408-2414.
 38. Human diagnosis project. <https://www.humandx.org/> (Available: 16.11.2015).
 39. Sensely. <http://www.sensely.com/> (Available: 16.11.2015).

40. On line Doctor Consultations. <https://www.babylonhealth.com/> (Available: 16.11.2015).
41. Liu J., Zhao S., Wang G. SSEL-ADE: A semi-supervised ensemble learning framework for extracting adverse drug events from social media// *Artif Intell Med.* 2018. N 84. P. 34-49.
42. Jiang L., Yang C.C. User recommendation in healthcare social media by assessing user similarity in heterogeneous network// *Artif Intell Med.* 2017. N. 8. P. 63-77.
43. Altini M., Casale P., Penders J., Amft O. Cardiorespiratory fitness estimation in free-living using wearable sensors// *Artif Intell Med.* 2016. N. 68. P. 37-46.
44. Tung C., Lu W. Analyzing depression tendency of web posts using an event-driven depression tendency warning model// *Artif Intell Med.* 2016. N. 66. P. 53-62.
45. Deepgenomics. <https://www.deepgenomics.com/> (Available: 16.11.2015).
46. ResearchKit and CareKit. <https://www.apple.com/researchkit/>(Available: 16.11.2015).
47. NewScientist <https://www.newscientist.com/article/2086454-revealed-google-ai-has-access-to-huge-haul-of-nhs-patient-data> (Available: 16.11.2015).
48. Arroyo-Gallego T. Ledesma-Carbayo M.J., Butterworth I., Matarazzo M., Montero-Escribano P., Puertas-Martín V., Gray M.L., Giancardo L., Sánchez-Ferro Á. Detecting Motor Impairment in Early Parkinson's Disease via Natural Typing Interaction With Keyboards: Validation of the neuroQWERTY Approach in an Uncontrolled At-Home Setting// *J Med Internet Res.* 2018. Vol. 20. N. e89.
49. The FDA Approved an Algorithm That Predicts Death. <https://futurism.com/fda-approved-algorithm-predicts-death/> (Available: 16.11.2015).
50. Pyrkov T.V., Slipensky K., Barg M., Kondrashin A., Zhurov B., Zenin A., Pyatnitskiy M., Menshikov L., Markov S., Fedichev P.O. Extracting biological age from biomedical data via deep learning: too much of a good thing?// *Sci Rep.* 2018. Vol. 8. N. 1. P. 5210.
51. Odamaki T., Kato K., Sugahara H., Hashikura N., Takahashi S., Xiao J.Z., Abe F., Osawa R. Age-related changes in gut microbiota composition from newborn to centenarian: a cross-sectional study// *BMC Microbiol.* 2016. N 16. P. 90.
52. Vidaki A., Ballard D., Aliferi A., Miller T.H., Barron L.P., Syndercombe C.D. DNA methylation-based forensic age prediction using artificial neural networks and next generation sequencing// *Forensic Sci Int Genet.* 2017. N. 28. P. 225-236.
53. Putin E., Mamoshina P., Aliper A., Korzinkin M., Moskalev A., Kolosov A., Ostrovskiy A., Cantor C., Vijg J., Zhavoronkov A. Deep biomarkers of human aging: application of deep neural networks to biomarker development// *Aging (Albany NY).* 2016. Vol. 8. N. 5. P. 1021-1033.
54. Costa A., Rincon J.A., Carrascosa C., Novais P., Julian V. Activities suggestion based on emotions in AAL environments// *Artif Intell Med.* 2018. N. 86. N. 9-19.
55. Назаренко Г. И., Осипов Г. С. Основы теории медицинских технологических процессов. Ч. 1. – М.: Физматлит, 2005. – 144 с.
56. Назаренко Г. И., Осипов Г. С. Основы теории медицинских технологических процессов. Ч. 2. Исследование медицинских технологических процессов на основе интеллектуального анализа данных. – М.: Физматлит, 2006. – 144 с.
57. Шестерникова О.П., Панкратова Е.С., Агафонов М.А., Винокурова Л.В., Финн В.К. Интеллектуальная система прогнозирования развития сахарного диабета у больных хроническим панкреатитом// *Искусственный интеллект и принятие решений.* 2015. № 4. С. 12-50.
58. Кузнецова Ю.М., Курузов И.А., Смирнов И.В., Станкевич М.А., Старостина Е.В., Чудова Н.В. Текстовые проявления фрустрированности пользователя социальных сетей // *Медиалингвистика.* 2020. Т. 7. № 1. С. 4-15.
59. Крутько В.Н., Большаков А.М., Брико А.Н., Донцов В.И., Зубрихина М.О., Крутько А.В., Мамиконова О.А., Молодченков А.И., Пальчевский А.И., Потемкина Н.С., Смирнов И.В., Смирнова Т.М., Федин К.А., Ходыкина Т.М. Интеллектуальная система здоровьесбережения - ИнСиЗ // *Вестник восстановительной медицины.* 2018. № 1. С. 14-20.
60. Кириков И.А., Колесников А.В., Румовская С.Б. Функциональная гибридная интеллектуальная система для поддержки принятия решений при диагностике артериальной гипертензии// *Системы и средства информатики.* – 2014. – Т. 24. – №1. – С. 153–179.

Крутько Вячеслав Николаевич. Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и Управление» Российской Академии Наук» (ФИЦ «Информатика и Управление» РАН), Москва, Россия. Заведующий отделом, доктор технических наук, кандидат биологических наук, профессор. Количество печатных работ: 220 (в т.ч. 15 монографий). Область научных интересов: медицинская информатика и компьютерные системы для оценки и прогноза здоровья и старения. E-mail: krutkovn@mail.ru

Донцов Виталий Иванович. Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и Управление» Российской Академии Наук» (ФИЦ «Информатика и Управление» РАН), Москва, Россия. Ведущий научный сотрудник, доктор медицинских наук. Количество печатных работ: 180 (в т.ч. 10 монографий). Область научных интересов: моделирование живых систем, системные механизмы старения, информатика здоровья, информационные технологии, компьютерные системы диагностики старения. E-mail: dontsovvi@mail.ru

Митрохин Олег Владимирович. Институт общественного здоровья им. Ф.Ф. Эрисмана Первого МГМУ им. И.М. Сеченова г. Москва, Россия. Зав. кафедрой общей гигиены, доктор медицинских наук. Количество печатных работ более 150. Область научных интересов: оценка риска воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения. E-mail: mov1163@yandex.ru.

Матвеев Александр Алексеевич. Институт общественного здоровья им. Ф.Ф. Эрисмана Первого МГМУ им. И.М. Сеченова г. Москва, Россия. Профессор кафедры общей гигиены, доктор медицинских наук. Количество печатных работ более 140. Область научных интересов: оценка риска и прогноз здоровья E-mail: Matveevmed@mail.ru.

Ермакова Нина Анатольевна. Институт общественного здоровья им. Ф.Ф. Эрисмана Первого МГМУ им. И.М. Сеченова г. Москва, Россия. Старший преподаватель кафедры общей гигиены. Количество печатных работ более 40. Область научных интересов: здоровьесберегающие технологии обучающихся. E-mail: ninaok11@gmail.com.

Потемкина Наталья Серафимовна. Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и Управление» Российской Академии Наук» (ФИЦ «Информатика и Управление» РАН), Москва, Россия. Старший научный сотрудник, кандидат биологических наук. Количество печатных работ: 40. Область научных интересов: информатика здоровья, здоровое питание. E-mail: nsptomkina@mail.ru

Artificial intelligence for health saving and personal potential development (review)

V.N. Krut'ko^{I,II}, V.I. Dontsov^I, O.V. Mitrokhin^{II}, A.A. Matveev^{II}, N.A. Ermakova^{II}, N.S. Potemkina^I

^I Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

^{II} Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia.

Abstract. Artificial intelligence (AI) is a rapidly developing branch of computer science. Human health, as an element of personal potential, is currently one of the main areas of investment in AI. The main purpose of health-related applications is to analyze the relationship between prevention or treatment methods and patient outcomes. AI programs have been developed and applied in practice, which diagnose and monitor the patient's condition, develop treatment protocols, and develop medicines. The development of AI and Big Data methods opens up new opportunities for health saving, allowing you to analyze huge amounts of information, in fact, opening a new era in the science and practice of health management. This paper provides an overview of the current state of use of AI principles and methods in the field of health.

Keywords: *informatics, artificial intelligence, big data, health, ageing, personalized medicine.*

DOI: 10.14357/20790279200310

References

1. *Volchek Ju.A., Shishko O.N., Spiridonova O.S. and Mohort T.V.* 2017. Polozhenie modeli iskusstvennoj nejronnoj seti v medicinskih jekspertnyh sistemah [Artificial neural network in medical expert systems]. *JUVENIS SCIENTIA*. 9:4-9.
2. *Pokidova A.V.* 2018. Iskusstvennyj intellekt v medicine [Artificial intelligence in medicine]. *Dostizhenija nauki i obrazovanija [Achievements of science and education]* 1(23):9-11.
3. *Goluhova E.Z.* 2017. Ot klinicheskikh issledovanij k innovacionnym tehnologijam [From clinical studies to innovative technologies]. *Kreativnaja kardiologija [Creative cardiology]* 11(3):192-201.
4. *Karpov O.Je., Klimenko G.S. and Lebedev G.S.* 2016. Primenenie intellektual'nyh sistem v zdavoohranenii [Application of intelligent systems in health care]. *Sovremennye naukoemkie tehnologii [Modern science-intensive technologies]*. 7-1:38-43.
5. *Buch V.H., Ahmed I. and Maruthappu M.* 2018. Artificial intelligence in medicine: current trends and future possibilities. *Br J Gen Pract.* 68(668):143-144.
6. *Yang C.C. and Veltri P.* 2015. Intelligent healthcare informatics in big data era// *Artif Intell Med.* 65(2):75-7.
7. *Kobrinskij B.A.* 2016. Edinoe informacionnoe prostranstvo: e-health i m-health [Unified information space of e-health and m-health]. *Vrach i informacionnye tehnologii [Doctor and information technologies]* 4:57-66.
8. *Moen H., Peltonen L.M., Heimonen J., Airola A., Pahikkala T., Salakoski T. and Salanterä S.* 2016. Comparison of automatic summarisation methods for clinical free text notes. *Artif Intell Med.* 67:25-37.
9. *Hassanpour S. and Langlotz C.P.* 2016. Information extraction from multi-institutional radiology reports. *Artif Intell Med.* 66:29-39.
10. *Fralenko V.P. and Shustova M.V.* 2017. Programmnyj kompleks dlja avtomaticheskogo vydelenija, vizualizacii i rascheta informativnyh harakteristik oblastej interesa v biomedicinskih dannyh MRT [Software package for automatic extraction, visualization and calculation of the informative characteristics of regions of interest in biomedical MRI data]. *Vestnik novyh medicinskih tehnologij. Jelektronnoe izdanie [Bulletin of new medical technologies]* 11(4):255-262.
11. *Rajpurkar P., Hannun A.Y., Haghpanahi M., Bourn C. and Ng A.Y.* 2017. Cardiologist-level arrhythmia detection with convolutional neural networks. *arXiv preprint arXiv:1707.01836*.
12. *Cohen A.A., Morissette-Thomas V., Ferrucci L. and Fried L.P.* 2016. Deep biomarkers of aging are population-dependent. *Aging (Albany NY)*. 8(9):2253-2255.
13. *Wang Z., Li L., Glicksberg B.S., Israel A., Dudley J.T. and Ma'ayan A.* 2017. Predicting age by mining electronic medical records with deep learning characterizes differences between chronological and physiological age. *J Biomed Inform.* 76:59-68.
14. *Oakden-Rayner L., Carneiro G., Bessen T., Nascimento J.C., Bradley A.P. and Palmer L.J.* 2017. Precision Radiology: Predicting longevity using feature engineering and deep learning methods in a radiomics framework. *Sci Rep.* 7(1):1648.
15. *Le N.V., Kamaev V.A., Panchenko D.P. and Trushkina O.A.* 2014. Model predstavlenija znanij pri sozdanii medicinskoj jekspertnoj sistemy differencial'noj diagnostiki [Model of representation of knowledge when creating medicinskoj jekspertnoj system differentsialnykh noj diagnostics]. *Izvestija Volgogradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta [Proceedings of the Volgograd state technical University]* 20(6):41-50.
16. *Shen Y., Yuan K., Chen D., Colloc J., Yang M., Li Y. and Lei K.* 2018. An ontology-driven clinical decision support system (IDDAP) for infectious disease diagnosis and antibiotic prescription. *Artif Intell Med.* 86:20-32.
17. *Mendez J.A., Leon A., Marrero A., Gonzalez-Cava J.M., Reboso J.A., Estevez J.I. and Gomez-Gonzalez J.F.* 2018. Improving the anesthetic process by a fuzzy rule based medical decision system. *Artif Intell Med.* 84:159-170.
18. *Pokidysheva L.I., Borisova I.V., Rusanova O.A. and Savickaja M.V.* 2015. Algoritm reshenija zadachi medicinskoj diagnostiki zabolevanij pishhevoj allergii [Algorithm for solving the problem of medicinskoj diagnosis of zabolevanij pishhevoj allergies]. *Mezhdunarodnyj issledovatel'skij zhurnal [International research journal]* 1-2(41):99-102.
19. *Kuzovkov A.V. and Vavilov A.Ju.* 2017. Objektivizacija diagnosticheskikh algoritmov ustanovlenija davnosti smerti cheloveka po dinamike timpanicheskoj temperatury [Objectification of diagnostic algorithms establish the prescription of death of the person on the dynamics of tympanic temperature]. *Sovremennyyj problemy nauki i obrazovanija [Modern problems of science and education]* 2:12.
20. *Kang S.* 2018. Personalized prediction of drug

- efficacy for diabetes treatment via patient-level sequential modeling with neural networks. *Artif Intell Med.* 85:1-6.
21. Saleh E., Blaszczyński J., Moreno A., Valls A., Romero-Aroca P., de la Riva-Fernández S. and Słowiński R. 2018. Learning ensemble classifiers for diabetic retinopathy assessment. *Artif Intell Med.* 85:50-63.
 22. Kazemi Y. and Mirroshandel S.A. 2018. A novel method for predicting kidney stone type using ensemble learning. *Artif Intell Med.* 84:117-126.
 23. Haddawy P., Hasan A.H., Kasantikul R., Lawpoolsri S., Sa-Angchai P., Kaewkungwal J. and Singhasivanon P. 2018. Spatiotemporal Bayesian networks for malaria prediction. *Artif Intell Med.* 84:127-138.
 24. Li X., Xu Y., Cui H., Huang T., Wang D., Lian B., Li W., Qin G., Chen L. and Xie L. 2017. Prediction of synergistic anti-cancer drug combinations based on drug target network and drug induced gene expression profiles. *Artif Intell Med.* 83:35-43.
 25. Dorado-Moreno M., Pérez-Ortiz M., Gutiérrez P.A., Ciria R., Briceño J. and Hervás-Martínez C. 2017. Dynamically weighted evolutionary ordinal neural network for solving an imbalanced liver transplantation problem. *Artif Intell Med.* 77:1-11.
 26. Zamborlini V., da Silveira M., Pruski C., Ten T.A., Geleijn E., van der Leeden M., Stuiver M. and van Harmelen F. 2017. Analyzing interactions on combining multiple clinical guidelines. *Artif Intell Med.* 81:78-93.
 27. Sirin U., Erdogdu U., Polat F., Tan M. and Alhajj R. 2016. Effective gene expression data generation framework based on multi-model approach. *Artif Intell Med.* 70:41-61.
 28. Jasnickij L.N. and Vnukova O.V. 2014. Prognoz rezultatov olimpiady-2014 v muzhskom odinochnom figurnom katanii metodami iskusstvennogo intellekta [Forecast of the results of the 2014 Olympic games in men's single figure skating by artificial intelligence methods]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education] 1:189.
 29. Искусственный интеллект в медицине: главные тренды в мире https://medaboutme.ru/zdorove/publikacii/stati/sovety_vracha/iskusstvennyy_intellekt_v_medsine_glavnye_trendy_v_mire/?utm_source=copypaste&utm_medium=referral&utm_campaign=copypaste https://medaboutme.ru/zdorove/publikacii/stati/sovety_vracha/iskusstvennyy_intellekt_v_medsine_glavnye_trendy_v_mire/?utm_source=copypaste&utm_medium=referral&utm_campaign=copypaste (Available: 16.11.2015).
 30. MedAbout. <https://medaboutme.ru/zdorove/> (Available: 16.11.2015).
 31. Watsononcology. <https://watsononcology.manipalhospitals.com/> (Available: 16.11.2015).
 32. Amit G. and Purdie T.G. 2015. Automated planning of breast radiotherapy using cone beam CT imaging. *Medical Physics.* 42(2):770-779.
 33. MedicalSieve – IBM. https://researcher.watson.ibm.com/researcher/view_group.php?id=4384. (Available: 16.11.2015).
 34. Deepmind. <https://deepmind.com/applied/deepmind-health/>. (Available: 16.11.2015).
 35. Neurolex. <https://www.neurolex.ai/>. (Available: 16.11.2015).
 36. Face2gene. <https://www.face2gene.com/>. (Available: 16.11.2015).
 37. Hadj-Rabia S., Schneider H., Navarro E., Klein O., Kirby N., Huttner K., Wolf L., Orin M., Wohlfart S., Bodemer C. and Grange D.K. 2017. Automatic recognition of the XLHED phenotype from facial images. *Am J Med Genet A.* 173(9):2408-2414.
 38. Human diagnosis project. <https://www.humandx.org/> (Available: 16.11.2015).
 39. Sensely. <http://www.sensely.com/> (Available: 16.11.2015).
 40. On line Doctor Consultations. <https://www.babylonhealth.com/> (Available: 16.11.2015).
 41. Liu J., Zhao S., Wang G. 2018. SSEL-ADE: A semi-supervised ensemble learning framework for extracting adverse drug events from social media. *Artif Intell Med.* 84:34-49.
 42. Jiang L. and Yang C.C. 2017. User recommendation in healthcare social media by assessing user similarity in heterogeneous network. *Artif Intell Med.* 81:63-77.
 43. Altini M., Casale P., Penders J. and Amft O. 2016. Cardiorespiratory fitness estimation in free-living using wearable sensors. *Artif Intell Med.* 68:37-46.
 44. Tung C. and Lu W. 2016. Analyzing depression tendency of web posts using an event-driven depression tendency warning model. *Artif Intell Med.* 66:53-62.
 45. Deepgenomics. <https://www.deepgenomics.com/> (Available: 16.11.2015).
 46. ResearchKit and CareKit. <https://www.apple.com/researchkit/> (Available: 16.11.2015).
 47. NewScientist <https://www.newscientist.com/article/2086454-revealed-google-ai-has-access->

- to-huge-haul-of-nhs-patient-data (Available: 16.11.2015).
48. Arroyo-Gallego T, Ledesma-Carbayo M.J., Butterworth I., Matarazzo M., Montero-Escribano P., Puertas-Martín V., Gray M.L., Giancardo L. and Sánchez-Ferro Á. 2018. Detecting Motor Impairment in Early Parkinson’s Disease via Natural Typing Interaction With Keyboards: Validation of the neuroQWERTY Approach in an Uncontrolled At-Home Setting. *J Med Internet Res.* 20(3):e89.
 49. The FDA Approved an Algorithm That Predicts Death. <https://futurism.com/fda-approved-algorithm-predicts-death/> (Available: 16.11.2015).
 50. Pyrkov T.V., Slipensky K., Barg M., Kondrashin A., Zhurov B., Zenin A., Pyatnitskiy M., Menshikov L., Markov S., Fedichev P.O. 2018. Extracting biological age from biomedical data via deep learning: too much of a good thing? *Sci Rep.* 8(1):5210.
 51. Odamaki T., Kato K., Sugahara H., Hashikura N., Takahashi S., Xiao J.Z., Abe F. and Osawa R. 2016. Age-related changes in gut microbiota composition from newborn to centenarian: a cross-sectional study. *BMC Microbiol.* 16:90.
 52. Vidaki A., Ballard D., Aliferi A., Miller T.H., Barron L.P. and Syndercombe C.D. 2017. DNA methylation-based forensic age prediction using artificial neural networks and next generation sequencing. *Forensic Sci Int Genet.* 28:225-236.
 53. Putin E., Mamoshina P., Aliper A., Korzinkin M., Moskalev A., Kolosov A., Ostrovskiy A., Cantor C., Vijg J. and Zhavoronkov A. 2016. Deep biomarkers of human aging: application of deep neural networks to biomarker development. *Aging (Albany NY).* 8(5): 1021-1033.
 54. Costa A., Rincon J.A., Carrascosa C., Novais P. and Julian V. 2018. Activities suggestion based on emotions in AAL environments. *Artif Intell Med.* 86:9-19.
 55. Nazarenko G.I., Osipov G.S. *Osnovy teorii meditsinskikh tekhnologicheskikh protsessov.* Ch. 1. – M.: Fizmatlit, 2005. – 144 s.
 56. Nazarenko G.I., Osipov G.S. *Osnovy teorii meditsinskikh tekhnologicheskikh protsessov.* Ch. 2. Issledovanie meditsinskikh tekhnologicheskikh protsessov na osnove intellektualnogo analiza dannykh. – M.: Fizmatlit, 2006. – 144 s.
 57. Shesternikova O.P., Pankratova Ye.S., Agafonov M.A., Vinokurova L.V., Finn V.K. *Intellektualnaya sistema prognozirovaniya razvitiya sakharnogo diabeta u bolnykh khronicheskim pankreatitom// Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy.* 2015. № 4. S. 12-50.
 58. Kuznetsova Yu.M., Kuruzov I.A., Smirnov I.V., Stankevich M.A., Starostina Ye.V., Chudova N.V. *Tekstovye proyavleniya frustrirovannosti polzovatelya sotsialnykh setey// Medialingvistika.* 2020. T. 7. № 1. S. 4-15.
 59. Krutko V.N., Bolshakov A.M., Briko A.N., Dontsov V.I., Zubrikhina M.O., Krutko A.V., Mamikonova O.A., Molodchenkov A.I., Palchevskiy A.I., Potemkina N.S., Smirnov I.V., Smirnova T.M., Fedin K.A., Khodykina T.M. *Intellektualnaya sistema zdorovesberezeniya - InSiZ // Vestnik vosstanovitelnoy meditsiny.* 2018. № 1. S. 14-20.
 60. Kirikov I.A., Kolesnikov A.V., Rumovskaya S.B. *Funktsionalnaya gibridnaya intellektualnaya sistema dlya podderzhki prinyatiya resheniy pri diagnostike arterialnoy gipertenzii// Sistemy i sredstva informatiki.* – 2014. – T. 24. – №1. – S. 153–179.

V.N. Krut’ko. Professor, Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, 119333, 44/2 Vavilova str., Moscow, Russia. E-mail: krutkovn@mail.ru

V.I. Dontsov. MD. Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, 119333, 44/2 Vavilova str., Moscow, Russia. E-mail: dontsovvi@mail.ru

O.V. Mitrokhin. Professor. Sechenov First Moscow State Medical University. 119991, 8/2 Trubetskaya str., Moscow, Russia. E-mail: mov1163@yandex.ru

A.A. Matveev. Professor. Sechenov First Moscow State Medical University. 119991, 8/2 Trubetskaya str., Moscow, Russia. E-mail: matveevmed@mail.ru

N.A. Ermakova. Assistant. Sechenov First Moscow State Medical University. 119991, 8/2 Trubetskaya str., Moscow, Russia. E-mail: ninaok11@gmail.com

N.S. Potemkina, PnD. Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, 119333, 44/2 Vavilova str., Moscow, Russia. E-mail: nspotyomkina@mail.ru