

ЭПИДЕМИОЛОГИЯ

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2024

Бакаев В.В.¹, Гашенко Т.Ю.^{1,2}, Марданлы С.С.¹, Жигалева О.Н.¹

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ РАЗВИТИЯ И УКРЕПЛЕНИЯ СИСТЕМЫ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1АО «ЭКОлаб», 142530, Электрогорск, Россия;

²ГОУВО МО «Государственный гуманитарно-технологический университет» (ГОУ ВО МО «ГТУ»), 142611, Орехово-Зуево, Россия

Искусственный интеллект (ИИ) играет все более важную роль в современной медицине, особенно в эпидемиологии, благодаря своей способности анализировать в реальном времени большие объемы эпидемиологических данных, выявлять тенденции и закономерности, прогнозировать возникновение и развитие сложных процессов, эпидемий и пандемий, и помогать в подготовке решений для их контроля и предотвращения.

Наблюдаемое в последние годы активное использование технологий и методов ИИ, в частности машинного обучения и нейросетей, для развития и совершенствования системы санитарно-эпидемиологического надзора позволяет улучшить процессы мониторинга, анализа и прогнозирования распространения инфекционных заболеваний, в т.ч. способных вызвать глобальные пандемии, такие как грипп и COVID-19. Эти методы применяются как для раннего выявления вспышек инфекций, определения текущих рисков для населения, так и для разработки стратегий эпидемиологического контроля, которые при соблюдении необходимой конфиденциальности и этических норм работы с медицинскими данными могут способствовать быстрому и эффективному реагированию на угрозы общественному здоровью, а также поиску инновационных подходов и методов борьбы с инфекциями. Таким образом, применение ИИ в эпидемиологическом надзоре имеет широкие перспективы, помогая усилить его эффективность и сберечь время и ресурсы, необходимые для разработки противоэпидемических мер.

Ключевые слова: санитарно-эпидемиологический контроль; инфекции; искусственный интеллект; эпидемические исследования; коронавирус

Для цитирования: Бакаев В.В., Гашенко Т.Ю., Марданлы С.С., Жигалева О.Н. Применение искусственного интеллекта для укрепления и развития системы эпидемиологического контроля (обзор литературы). *Эпидемиология и инфекционные болезни*. 2024; 29(3): 126-134.

DOI: <https://doi.org/10.51620/3034-1981-2024-29-3-126-134>

Для корреспонденции: Бакаев Валерий Владимирович, д.б.н., консультант НПО ПЦР, АО «ЭКОлаб», 142530, Московская обл., ул. Буденного д. 1а, e-mail: bakayev@gmail.com.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Финансирование. Исследование финансировалось АО «ЭКОлаб».

Поступила 11.07.2024

Принята к печати 05.09.2024

Опубликовано 01.10.2024

Bakayev V.V.¹, Gashenko T.Yu.^{1,2}, Mardanly S.S.¹, Zhigaleva O.N.¹

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR THE DEVELOPMENT AND STRENGTHENING OF THE EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE (LITERATURE REVIEW)

¹ JSC "EKOLab", 142530, Elektrogorsk, Russia;

² State educational institution of higher education of the Moscow region «State Humanitarian University of Technology» (GGTU), 142611, Orekhovo-Zuyevo, Russia

Artificial Intelligence (AI) is playing an increasingly important role in modern medicine, particularly in epidemiology, due to its ability to analyze large volumes of epidemiological data in real-time, identify trends and patterns, predict the emergence and development of complex processes, epidemics and pandemics, and assist in preparing solutions for their control and prevention.

The active use of AI technologies and methods in recent years, particularly machine learning and neural networks, for the development and improvement of the sanitary and epidemiological surveillance system allows for better monitoring, analysis, and forecasting of the spread of infectious diseases, including those capable of causing global pandemics, such as influenza and COVID-19. These methods are employed for early detection of infection outbreaks, assessing current risks to the population, and developing epidemiological control strategies, which, while ensuring necessary confidentiality and ethical standards in handling medical data, can facilitate rapid and effective responses to public health threats, as well as the search for innovative approaches and methods to combat infections. Thus, the application of AI in epidemiological surveillance has broad prospects, helping to strengthen its effectiveness and to save time and resources needed for the development of anti-epidemic measures.

Key words: artificial intelligence, sanitary and epidemiological surveillance, ethics, coronavirus

For citation: Bakayev V.V., Gashenko T.Yu., Mardanly S.S., Zhigaleva O.N. Application of artificial intelligence for the development and strengthening of the epidemiological surveillance (Literature Review). *Epidemiologiya I Infektsionnye bolezni (Epidemiology and Infectious Diseases)*. 2024; 29(3): 126-134 (in Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.51620/3034-1981-2024-29-3-126-134>

For correspondence: *Valeriy V. Bakayev*, Doctor of Biol. Sciences, consultant - NPO PCR, "EKOLab" JSC, 142530, Moscow region, st. Budennogo 1a, e-mail: bakayev@gmail.com

Conflict of interest. *The authors declare no conflict of interest*

Funding. *The study was funded by JSC ECOLab.*

Information about authors:

Bakayev V.V., <https://orcid.org/0009-0005-5264-5606>;

Gashenko T.Yu., <https://orcid.org/0000-0001-6768-2251>;

Mardanly S.S., <https://orcid.org/0000-0002-4440-6075>;

Zhigaleva O.N., <https://orcid.org/0000-0002-5003-1089>.

Received 11.07.2024

Accepted 05.09.2024

Published 01.10.2024

Введение. Искусственный интеллект (ИИ) становится необходимым инструментом во многих областях медицины, включая эпидемиологию, благодаря его способности анализировать большие объемы данных, выявлять скрытые связи и закономерности, быстро обучаться и адаптироваться к изменениям в клинических и эпидемиологических условиях [1-3]. Под ИИ подразумевается обеспечиваемая совокупностью информационных технологий способность программируемых систем выполнять творческие функции и решать «интеллектуальные» задачи, такие как выявление закономерностей, распознавание и создание образов, обучение, принятие решений, которые традиционно считаются прерогативой человека. ИИ объединяет такие технологии, как машинное обучение, нейронные сети и глубокое обучение, обработка естественного языка, компьютерное зрение, системы рекомендаций и другие [4]. Среди наиболее известных направлений, где он используется в медицине - разработка и выпуск новых лекарственных средств и вакцин, диагностика заболеваний, анализ изображений, составление персонализированных лечебных планов, мониторинг состояния пациентов и больших групп населения, автоматизация административных процессов в здравоохранении. Эти технологии позволяют с большей точностью и оперативностью моделировать и прогнозировать распространение заболеваний, в том числе инфекционных, что в свою очередь способствует разработке более эффективных стратегий и методов защиты общественного здоровья. Предлагаемый обзор имеет целью помочь медицинским работникам разных специальностей оценить роль ИИ в современной эпидемиологии и ознакомиться с перспективными направлениями его дальнейшего применения.

Как известно, санитарно-эпидемиологический контроль в его эпидемиологическом контексте представляет собой организованное наблюдение и систематический сбор и анализ данных об инфекционных и массовых неинфекционных заболеваниях (для их выявления, интерпретации паттернов распространения или комбинаций в популяции), а также слежение за циркуляцией патогенов среди объектов окружающей среды. Целью такого контроля является текущая оценка эпидемиологической ситуации, тенденций и рисков возможного развития эпидемического процесса для разработки санитарно-противоэпидемических мероприятий и принятия решений, направленных на снижение заболеваемости, предупреждение вспышек инфекции и развития эпидемий. Организованный в виде системы мер и ме-

роприятий, эпидемиологический контроль необходим для обнаружения очагов инфекций, раннего выяснения возможных причин групповых заболеваний, и выработки эффективных мер по контролю их распространения, предотвращению эпидемий, а также для создания стратегий профилактики заболеваний в отдельных популяциях и регионах [5-8]. Данные стратегии могут включать в себя различные меры и действия, такие как вакцинация, гигиенические требования, создание системы выявления инфицированных пациентов, изоляцию больных и потенциально инфицированных, обучение общественности и многое другое, сочетание которых в соответствии с рекомендациями ИИ поможет в принятии выверенных решений и объективной оценке их эффективности. Обоснованное практическое сочетание санитарного надзора и эпидемиологического контроля за инфекционными заболеваниями с использованием ИИ поможет обеспечить более успешное противодействие угрозам общественному здоровью и безопасность населения.

1. Применение искусственного интеллекта в эпидемиологии.

Актуальность применения ИИ в эпидемиологии основывается на следующих его способностях и технологиях [1,8,9]:

а) *мониторинг заболеваемости и адаптация* средств контроля – структуры и методы ИИ используются для разработки систем диагностики инфекционных заболеваний, скрининга больших групп населения, и определения текущих факторов и групп риска, ситуационного мониторинга, предупреждения об угрозах, адаптации стратегий предотвращения и контроля эпидемий [2-4];

б) ИИ может применяться для *сбора, обработки и анализа данных* о вспышках заболеваний и их распространении, включая медицинские записи, результаты массового тестирования на инфекционные агенты, обезличенную информацию из социальных сетей и т.д., что позволяет эффективно выявлять предполагаемые очаги инфекций, группы риска, интерпретировать паттерны, тренды, и прогнозировать вероятность развития эпидемий [9,10];

в) *моделирование распространения болезней* – ИИ может использоваться для модификации математических и создания компьютерных моделей (включая их прогностические варианты) распространения инфекций, прогнозирования вероятности возникновения и развития эпидемических ситуаций, оценки потенциальных рисков и эффективности мер контроля на основе

имеющихся данных и переменных, что позволяет принимать более эффективные информированные решения о необходимых мерах и порядке их исполнения [9-12];

г) *принятие решений* - ИИ способен на основе эпидемиологических данных помогать в выборе обоснованных решений, разработке и оценке эффективности различных стратегий и мер контроля заболеваемости и оптимизации процессов управления общественным здоровьем [8,12,13].

Эти технологии и подходы позволяют оптимизировать работу эпидемиологов, лучше понимать динамику распространения заболеваний, в первую очередь, инфекционной природы, более точно и оперативно реагировать на угрозы для общественного здоровья и повышать эффективность контрмер, что делает ИИ крайне актуальным и важным инструментом в борьбе с инфекционными заболеваниями.

2. Методы искусственного интеллекта для использования в санитарно-эпидемиологическом надзоре.

ИИ в перспективе может играть ключевую роль в эпидемиологическом надзоре благодаря применяемым методам, способности к предиктивной аналитике для прогнозирования распространения заболеваний и оптимизации контрольных мер. К основным методам ИИ можно отнести машинное обучение (Machine Learning), глубокое обучение (Deep Learning), нейронные сети (Neural Networks), эволюционные алгоритмы, системы экспертного типа и их комбинации [1-5,8-10,13].

2.1 Машинное обучение (МО) предлагает инструменты для детального анализа эпидемиологических данных и представляет собой класс методов ИИ, основанных на обучении за счёт использования решений множества сходных задач. Для создания таких методов применяются различные математические и статистические подходы, численные методы, методы оптимизации, теория вероятностей, теория графов, а также техники работы с данными в цифровой форме. Существует два основных типа обучения: индуктивное, по прецедентам, основанное на выявлении эмпирических закономерностей в имеющихся данных, и дедуктивное обучение, которое включает формализацию знаний экспертов и создание соответствующей базы знаний [1,4,13].

Использование МО для анализа эпидемиологических данных предлагает следующие основные направления разработки соответствующих алгоритмов [13]:

а) *классификация*, например, разделения пациентов на группы по наличию или отсутствию инфекционного заболевания, с целью определения степени риска и прогнозирования исхода болезни;

б) *кластеризация* для выявления скрытых групп пациентов или регионов схожих по характеристикам заболеваний, что может быть важно для обнаружения паттернов распространения инфекций;

в) *прогнозирование* - путём создания моделей для прогнозирования динамики эпидемий, оценки вероятности заболевания у отдельных лиц или групп, а также оценки эффективности различных мер контроля заболеваний;

г) *обнаружение аномалий* - алгоритмы для обнаружения необычных паттернов в собранных данных, что может указывать на возможные эпидемические вспышки или недостоверность информации;

д) *автоматизация процессов* - МО позволяет авто-

матизировать процессы анализа данных, что помогает их ускорению и упрощению, обеспечивает обоснованную и быструю реакцию на угрозы здоровью общества.

Развитие данных направлений предполагает, что машинное обучение становится эффективным инструментом для анализа эпидемиологических данных и оптимизирования стратегии контроля инфекционных заболеваний.

2.2 Алгоритмы искусственного интеллекта (Artificial Intelligence Algorithms, AIA) позволяют путем анализа эпидемиологических данных, выявлять скрытые закономерности и предсказывать возможные сценарии развития эпидемии, используя данные о заболевших, контактировавших лицах, географическом распределении и других факторах. Создание моделей и использование алгоритмов ИИ в целях оптимизации стратегии контроля и выработки своевременных мер для предотвращения эпидемий включает несколько ключевых этапов [13-15]:

а) *сбор данных* - является первоначальным шагом и может включать сведения о заболевших, контактных лицах, географическом распределении заболевания, параметрах окружающей среды и других факторах, влияющих на распространение инфекции;

б) *предварительная обработка данных* - предполагает очистку от ошибок, заполнение пропущенных значений, нормализацию и преобразование в удобный для анализа формат;

в) *выбор модели машинного обучения* (или других методов ИИ) для прогнозирования распространения инфекции - это может быть классификационная, регрессионная или кластеризационная модель, а также нейронная сеть или другие алгоритмы;

г) *обучение модели* - модель обучается на собранных данных с целью выявления закономерностей, позволяющих предсказать динамику распространения инфекции; обучение может предполагать разделение данных на обучающую и тестовую выборки, подбор оптимальных параметров и оценку качества модели;

д) *валидация модели* - для подтверждения способности правильно предсказывать распространение инфекции на новых данных, и оценки точности и надежности модели;

е) *прогнозирование и моделирование* - после успешной валидации модель может быть использована для прогнозирования распространения инфекции, моделирования различных сценариев развития эпидемии и оптимизации стратегий контроля и предотвращения распространения заболевания.

Кроме того, алгоритмы ИИ могут использоваться для анализа социальных медиа и других онлайн-источников информации, чтобы отслеживать публичные мнения, выявлять слухи и дезинформацию, а также предсказывать поведение населения в условиях эпидемии. Это содействует улучшению коммуникации с общественностью, разработке эффективных информационных кампаний и выработке мер по предотвращению паники.

Таким образом, применение алгоритмов ИИ для прогнозирования и моделирования распространения инфекций открывает новые возможности для усиления системы санитарно-эпидемиологического надзора. Дальнейшее развитие этого направления позволит

более эффективно бороться с эпидемиями и защищать здоровье населения.

2.3 Применение нейронных сетей (Artificial Neural Networks – ANN) и глубокого обучения представляет собой важное направление в развитии санитарно-эпидемиологического надзора, которое способно значительно улучшить систему контроля инфекционных заболеваний. Нейронные сети (НС) – это компьютерные модели, «подражающие» работе человеческого мозга и способные обрабатывать большие массивы данных, выявлять в них закономерности для решения следующих задач:

а) *предсказание распространения инфекций* при помощи анализа данных о заболевших, контактных лицах, географическом распределении заболеваний и других факторах для прогнозирования динамики. Глубокое обучение позволяет моделям НС выявлять сложные закономерности и делать более точные прогнозы.

б) *обнаружение аномалий* – НС могут быть обучены находить аномалии в данных, что помогает оперативно выявлять необычные паттерны распространения инфекции и изменения в динамике заболеваемости. Это может быть ключевым элементом для быстрого реагирования и принятия мер по контролю эпидемии.

в) *оптимизация стратегий контроля инфекционных заболеваний* может проводиться на основе анализа данных и прогнозов, полученных с помощью НС, включая оптимизацию распределения ресурсов, разработку эффективных профилактических прививок, диагностических тестов, и управление мерами социально-дистанцирования [13-16].

Следовательно, применение нейронных сетей и глубокого обучения в санитарно-эпидемиологическом надзоре открывает новые возможности для более точного прогнозирования и моделирования эпидемических процессов, быстрого обнаружения аномалий и оптимизации стратегий контроля инфекционных заболеваний.

3. Примеры успешного применения искусственного интеллекта в эпидемиологии.

На протяжении истории человечества вплоть до нашего времени мир сталкивался со множеством инфекционных заболеваний, таких как чума, малярия, грипп, ВИЧ/СПИД, COVID-19, которые оказали значительное влияние на общественное здоровье, социальные структуры и экономику многих стран. Разработка эффективной эпидемиологической модели для понимания динамики распространения и развития таких заболеваний представляет собой важную и одновременно сложную задачу, что объясняется множеством вовлеченных факторов, включая биологические характеристики возбудителей, поведение населения и условия окружающей среды.

3.1 Разработка систем мониторинга и раннего предупреждения возможных вспышек заболеваний с использованием информационных технологий – одно из ключевых направлений эпидемиологических исследований. В последние годы получило широкое распространение использование геопространственных технологий для создания геоинформационных систем (ГИС) отслеживания распространения инфекций и выбора мест проведения санитарно-профилактических мероприятий [17]. В контексте недавней пандемии COVID-19 ученые предложили широкий спектр моде-

лей для прогнозирования распространения инфекции и воздействия на общество. Многие из них основываются на классических эпидемиологических подходах, таких как математические модели SIS (Susceptible-Infected-Susceptible), SIR (Susceptible-Infected-Recovered) и SEIR (Susceptible-Exposed-Infected-Recovered), которые помогали изучать различные сценарии развития пандемии, анализировать эффективность противопандемических мер, а также оценивать возможные последствия для системы здравоохранения и экономики региона [18].

В то же время были разработаны модели с использованием ИИ, имеющие высокий аналитический и прогностический потенциал как для отдельных пациентов и лечебных центров, так и для затронутых регионов. Так, компания «Jvion» разработала алгоритмы на основе машинного обучения для оценки вероятности заражения COVID-19 и необходимости госпитализации, учитывая индивидуальные факторы риска и имеющиеся клинические данные. ИИ также анализировал социальные факторы, такие как плотность населения и участие в общественных мероприятиях. Это позволило осуществлять автоматическую оценку больших групп населения и выявлять круг лиц высокого риска без их обращения в медицинские учреждения, что важно для санитарно-эпидемиологического надзора и мониторинга здоровья населения [15-20]. Одновременно, в целях краткосрочного предсказания возможного числа зараженных и умерших в результате инфекции COVID-19 была создана модель и проведена оценка ее точности. Было показано преимущество метода машинного обучения CatBoost перед ранее используемой линейной регрессией [19].

Следовательно, применение разнообразных эпидемиологических моделей становится ключевым инструментом в борьбе с инфекционными заболеваниями и в планировании превентивных мер для предотвращения новых эпидемий.

3.2 Использование машинного обучения для выявления эпидемического потенциала вирусов и их штаммов является актуальной и перспективной областью в эпидемиологии. Такой подход позволяет анализировать широкий спектр данных, включая генетическую структуру вирусов и прогнозировать их вирулентность и способность распространения в определенных регионах [15,19]. Среди возможных особенностей, анализируемых в подобных исследованиях важное место занимают следующие маркеры:

а) тип генома (ДНК/РНК), его размер и организация (наличие сегментированного генома у некоторых вирусов, например, вируса гриппа), которые могут влиять на стабильность вируса и его способность к рекомбинации;

б) генетическая вариабельность, высокий уровень которой может указывать на способность вируса адаптироваться к новым хозяевам или условиям, что увеличивает его потенциал к распространению [15];

в) наличие генов, способствующих вирулентности, может дать представление о том, насколько опасен вирус и как он может распространяться;

г) гены, отвечающие за адаптацию вируса к иммунному ответу хозяина, могут обеспечивать высокий потенциал для распространения;

д) генетические маркеры, специфичные для опреде-

ленных штаммов вируса, могут быть использованы для отслеживания путей распространения и источников инфекции;

е) структурные элементы, связанные с механизмами передачи (например, антигены, которые взаимодействуют с клетками хозяев), могут помочь в понимании того, как вирус поражает организм и передается между особями;

ж) наличие генов, кодирующих белки, делающие вирус устойчивым к антивирусным препаратам, может повлиять на его распространение в популяциях, особенно среди людей, получающих лечение.

Анализ этих элементов в контексте эпидемиологических данных и моделей может помочь предсказать, где и как вирус может распространяться, а также оценивать риски для здоровья населения, разрабатывать превентивные стратегии и адаптировать лечение. Тем самым, использование машинного обучения для выявления пандемического потенциала вирусов представляет собой перспективное направление в эпидемиологии, что подтверждается результатами современных научных исследований [15,19-21].

Пандемия COVID-19 привела к появлению множества вариантов вируса SARS-CoV-2, что затруднило диагностические исследования и прогнозирование его изменений [22-25]. Примером систем на основе искусственного интеллекта, которые могут предсказывать появление новых штаммов вируса, комбинируя данные о его структуре и модели эволюции, может быть EVEscape [20]. Она была адаптирована для различных вирусов и продемонстрировала высокую точность в предсказании мутаций, что позволило бы оценивать изменения в структуре вирусов и потенциальные угрозы, будь она разработана в начале пандемии. Система способна отслеживать и анализировать десятки тысяч новых вариантов вируса, и выявлять те из них, которые могут представлять наибольшую угрозу. Поскольку вирусы и штаммы, вызывающие умеренные симптомы, имеют длительный инкубационный период и эффективные способы передачи, они будут более трансмиссивными, чем высоко вирулентные. EVEscape могла бы помочь в прогнозировании потенциала распространения штаммов SARS-CoV-2 и оптимизации вакцин и протоколов лечения. В этом ключе, EVEscape способна сыграть важную роль в мониторинге эпидемий и разработке новых подходов к лечению COVID-19, учитывая его множество мутаций [20].

4. Вызовы и их преодоление при использовании искусственного интеллекта в практической эпидемиологии.

Конкретные практические решения в санитарно-эпидемиологическом надзоре, которые подлежат рассмотрению при использовании искусственного интеллекта, могут быть сгруппированы в следующие направления:

а) *разработка алгоритмов* - объединение экспертных знаний в области эпидемиологии с технологиями ИИ позволяет разработать *эффективные алгоритмы для прогнозирования* распространения инфекций и предотвращения эпидемий;

б) *интеграция данных* - использование ИИ для объединения и анализа данных из различных источников (например, клинические данные, информация о пере-

мещении людей) их автоматизированная обработка для выявления паттернов и трендов, что помогает предсказывать потенциальные вспышки заболеваний и возникновение эпидемий;

в) *модели МО для прогнозирования распространения заболеваний* на основе данных о заболеваемости, климатических и географических факторах для определения риска инфекции у разных групп населения и разработки стратегий предотвращения эпидемий;

г) *системы мониторинга и реагирование с целью быстрой оценки* эпидемиологической ситуации и помощи в оперативном выборе мер против распространения болезней, включая использование ботов и автономных систем для мониторинга и контроля.

Большой потенциал ИИ для применения в эпидемиологии не исключает определенных требований и вызовов, возникающих в ходе выполнения конкретных практических решений в этой области, к которым можно отнести следующие:

а) *качество данных* - одним из основных вызовов является необходимость обеспечения *высокого качества данных*, используемых для обучения и применения моделей ИИ в эпидемиологии; недостоверные данные приведут к неправильным выводам и решениям;

б) *конфиденциальность и защита данных*, необходимость соблюдения которых возрастает с увеличением объемов данных, включая персональные медицинские записи;

в) *интерпретируемость решений* - многие модели ИИ, особенно нейронные сети с глубоким обучением, могут предлагать результаты, сложные для интерпретации, что затрудняет объяснение принимаемых ими решений и выводов;

г) важно также учитывать *этические аспекты использования данных* для ИИ в медицинских целях, необходимости баланса между использованием современных технологий и уважением прав и конфиденциальности пациентов [26-28].

Чтобы повысить доверие к моделям ИИ, предлагается включить при их разработке семь требований: человеческий фактор и надзор, техническую надёжность и безопасность, конфиденциальность и контроль данных, прозрачность, разнообразие, беспристрастность, социальное и экологическое благополучие, подотчётность [29].

4.1 Конфиденциальность и защита данных

При использовании ИИ необходимо обеспечить защиту персональных данных пациентов и другой конфиденциальной информации от несанкционированного доступа и использования. В этих целях сочетаются технические, правовые и организационные меры:

а) *анонимизация данных* - при анализе данных для эпидемиологических целей можно использовать способы анонимизации, которые заменяют идентифицирующую информацию на уникальные идентификаторы или удаляют её полностью;

б) *шифрование данных* - для защиты данных от несанкционированного доступа можно использовать шифрование, чтобы обеспечить их конфиденциальность при передаче и хранении и доступность только авторизованным пользователям;

в) *управление доступом* - ограничение доступа к чувствительным медицинским данным только для ав-

торизованных лиц с минимальными необходимыми правами помогает обеспечить их безопасность;

г) *соблюдение законодательства* - при использовании ИИ в эпидемиологии необходимо соблюдать законы, которые устанавливают стандарты конфиденциальности и защиты данных, в т.ч. при обработке медицинской информации;

д) *обучение персонала* - профессиональная подготовка персонала, работающего с медицинскими данными, включая вопросы конфиденциальности и защиты данных, играет важную роль в обеспечении безопасности информации.

4.2 Интерпретация результатов, полученных при помощи ИИ в контексте эпидемиологической практики.

Достоверность интерпретации данных, обработанных при помощи ИИ, и полученных выводов и прогнозов обеспечивается следующими требованиями:

а) *контроль качества данных* - прежде всего, необходимо тщательно контролировать и оценивать качество входных данных, на которых обучался алгоритм ИИ, чтобы понять, насколько надежны и достоверны результаты, полученные с его помощью;

б) *понятность и надежность алгоритмов* - методы, используемые при работе с ИИ, должны быть четкими и объяснимыми для специалистов в области эпидемиологии, что обеспечит понимание параметров и факторов, влияющих на выводы и рекомендации;

в) *сравнение с апробированными методами анализа данных* для понимания того, насколько алгоритмы ИИ способны улучшить прогнозирование и качество решений;

г) *экспертная интерпретация* в целях оценки практической значимости и возможных ограничений полученных при помощи ИИ решений;

д) *контекстуализация результатов* в рамках эпидемиологической ситуации.

Необходимо учитывать ограничения и возможные ошибки ИИ, включая необходимость переобучения модели, недостаточность данных или репрезентативности выборки. Поэтому, правильная интерпретация результатов ИИ в эпидемиологической практике требует внимательного анализа данных, контекста и ограничений моделей, равно как критического подхода и профессионального опыта эпидемиолога.

4.3 Требования к этическим нормам при обработке медицинских данных с использованием искусственного интеллекта.

Этические аспекты сбора и обработки данных при использовании ИИ имеют важное значение для защиты прав пациентов и поддержания доверия общества к подобным технологиям и основываются на следующих требованиях [26-29]:

а) *согласие и информированный выбор* - при сборе данных для использования в исследованиях или прогнозировании заболеваний, необходимо получить согласие от пациентов и обеспечить им возможность информированного выбора относительно использования их данных;

б) *конфиденциальность, защита и неразглашение* личных данных с гарантией, что данные пациентов будут храниться и обрабатываться безопасно и не будут передаваться третьим лицам без согласия пациентов;

в) *ответственность и управление рисками* - организации, занимающиеся сбором и обработкой данных при помощи ИИ, должны нести ответственность за надле-

жащее управление рисками, связанными с конфиденциальностью и соблюдением необходимых этических требований;

г) *обучение специалистов и пациентов* для понимания возможностей и ограничений в применении ИИ в эпидемиологии, а также их прав и обязанностей в этом контексте.

Соблюдение данных этических норм при применении ИИ поможет, не нарушая права пациентов, обеспечить справедливое, безопасное и эффективное использование медицинских данных для защиты общественного здоровья [25,26].

5. Перспективы применения искусственного интеллекта для эпидемиологического контроля.

5.1 Интеграция систем ИИ с используемыми системами санитарно-эпидемиологического надзора.

Интеграция ИИ в существующие системы надзора улучшает автоматизацию процессов сбора, анализа и интерпретации данных, предоставляет возможность более быстро и эффективно обрабатывать значительные объемы информации и выявлять возможные аномалии.

Развитие алгоритмов ИИ позволит создать более точные модели прогнозирования распространения инфекционных заболеваний. Так, SIS, SIR и SEIR представляют собой математические модели, используемые в эпидемиологии для описания распространения инфекций в популяции [18]. Каждая из этих моделей имеет свои параметры и уравнения, которые позволяют исследовать динамику инфекций и предсказывать сценарии их распространения. Хотя модели SIS, SIR и SEIR сами по себе не являются моделями ИИ, их можно интегрировать с методами и подходами ИИ для достижения более глубокого понимания и более точного прогнозирования в области эпидемиологии [14]:

а) ИИ может помочь в *обработке и анализе широкого спектра данных о заболеваемости*, что позволяет более точно настраивать параметры используемых моделей;

б) *прогнозирование* - для создания сложных прогнозистических моделей, которые учитывают множество факторов, влияющих на распространение болезней - поведение населения, социальные и экономические условия рекомендовано машинное обучение;

в) ИИ может использоваться для *оптимизации параметров существующих моделей* (SIS, SIR, SEIR), улучшая их предсказательную способность;

г) ИИ может помочь в проведении сложных симуляций, которые исследуют различные сценарии и варианты, что может быть полезно для планирования ответных мер при возникновении эпидемии;

д) *обучение медицинских кадров*, в т.ч. эпидемиологов, и повышение компетенций в области сбора данных и ИИ-технологий станет важным шагом развития санитарно-эпидемиологического надзора для улучшения общественного здоровья;

е) *внедрение систем ИИ* в эпидемиологический надзор поможет улучшить совместную работу на различных уровнях здравоохранения и обеспечить быструю передачу информации о возможных угрозах здоровью населения.

5.2 Развитие инновационных и интеграционных технологий для эффективного применения искус-

ственного интеллекта.

Развитие инновационных подходов и технологий для эффективного применения ИИ в эпидемиологическом надзоре включает в себя создание специализированных алгоритмов и программных решений, адаптированных к специфике конкретных инфекционных заболеваний и методов надзора:

а) *интеграция* с помощью технологий ИИ различных видов данных, таких как клинические, эпидемиологические, генетические и социальные, позволит создать комплексные модели анализа и предсказания развития инфекционных заболеваний с возможностью выявления паттернов и связей, которые могут быть незаметны при традиционных методах анализа данных;

б) разработка и использование инновационных сенсорных технологий и устройств для сбора данных о здоровье населения и окружающей среде поможет расширить объем информации, доступной для анализа с помощью ИИ;

в) применение методов обработки естественного языка и анализа текстов для мониторинга информации из различных источников, таких как социальные медиа, новостные и научные публикации, позволит оперативно выявлять и отслеживать потенциальные угрозы для общественного здоровья;

г) ИИ поможет автоматизировать процессы мониторинга и реагирования на новые эпидемические ситуации;

д) внедрение технологий блокчейн и киберзащиты для обеспечения безопасности и гарантированной конфиденциальности данных, используемых в эпидемиологическом надзоре с ИИ, станет важным шагом в его развитии и поможет установить доверие между участниками процесса, обеспечив надежность результатов анализа;

е) обучение специалистов в области эпидемиологии и информационных технологий новым методам исследования и применения ИИ и развитие программ по их обучению позволит создать квалифицированные кадры для работы в сфере санитарно-эпидемиологического надзора с использованием ИИ.

5.3 Перспективы применения ИИ в рамках федеративных мероприятий и программ

На данное время в Российской Федерации мониторинг инфекционных заболеваний обеспечивается эффективной трёхуровневой системой с первичным выявлением патогенов через разветвленную лабораторную сеть, созданную в рамках проекта «Санитарный щит» и находящуюся под контролем Роспотребнадзора. Об этом сообщила Анна Попова, глава ведомства, во время пленарного заседания в Совете Федерации 8 ноября 2023 г. [30]. В крупных городах страны активно работают 153 исследовательских центра, что позволяет быстро выявлять инфекции и при необходимости проводить массовое тестирование. Более точная идентификация патогенов проводится на втором уровне при помощи секвенирования нуклеиновых кислот, проводящегося в 48 центрах, занимающихся анализом возбудителей инфекций на геномном уровне. Наконец, на третьем уровне научно-исследовательские институты Роспотребнадзора определяют ключевые характеристики, а также природу и географическое происхождение микроорганизмов. Модернизация рутинной ра-

боты данной системы может быть проведена с участием ИИ. "При реализации проекта «Санитарный щит» будут усовершенствованы подходы к мониторингу и анализу санитарной обстановки, внедрена информационная система анализа эпидемиологической ситуации на основе искусственного интеллекта для обеспечения результатов по четырем направлениям: эффективное предупреждение, раннее выявление, оперативное реагирование на возникающие вызовы, эффективный контроль за всеми объектами и факторами окружающей среды" - отметила глава ведомства.

Возможности использования цифровых технологий и ИИ в рамках федеративных программ могут быть проиллюстрированы на следующих примерах:

а) Цифровизация системы государственной санитарно-эпидемиологической службы будет служить развитию подходов к отслеживанию санитарной обстановки и внедрению информационных систем анализа ситуации на основе ИИ. Законопроект предполагает создание открытых реестров о возникновении инфекционных болезней и массовых отравлениях, а также о показателях окружающей среды и профилактических мерах, которые проводит государство. Планируется создание федеральной госинформсистемы, где будут собраны все показатели санитарного благополучия страны, введение которой обеспечит взаимодействие Минздрава, Роспотребнадзора и органов местного самоуправления в сфере охраны здоровья [31]. План мероприятий ("дорожная карта") по развитию и укреплению системы федерального государственного санитарно-эпидемиологического надзора на 2021-28 гг., утверждённый распоряжением Правительства РФ от 30 декабря 2020 г. № 3680-р) предусматривает «Цифровизацию и информатизацию системы федерального государственного санитарно-эпидемиологического надзора» с целью «повышения оперативности и качества анализа и прогноза санитарно-эпидемиологической обстановки в РФ и за рубежом, направленных на принятие управленческих решений; повышение оперативности реагирования на угрозы санитарно-эпидемиологическому благополучию населения». В рамках данного плана проводится «Разработка моделей объективного прогноза развития эпидемиологической ситуации в регионах Российской Федерации и в мире», предполагающая «создание программных модулей, позволяющих оценивать текущую эпидемиологическую обстановку и осуществлять прогнозирование, для повышения эффективности планирования противоэпидемических мероприятий за счет их адресного сосредоточения на территории риска и с охватом контингентов эпидемиологического риска».

б) в рамках "Паспорта федерального проекта "Искусственный интеллект" национальной программы "Цифровая экономика Российской Федерации" (от 27.08.2020) проводится и актуализируется маркетинговое исследование для отечественной и глобальной отраслей аппаратно-программных комплексов для целей ИИ, определяющее основные приоритетные нишевые решения в области аппаратно-программных комплексов и потенциальных заказчиков таких решений; создан и функционирует центр коллективного пользования (ЦКП) с оборудованием и ПО в области разработки аппаратно-программных комплексов для целей ИИ; обеспечивается внедрение технологий искус-

ственного интеллекта в отрасли здравоохранения [32].

Заключение. Приведенные аргументы свидетельствуют, что применение ИИ в санитарно-эпидемиологическом надзоре является крайне важным и перспективным для выполнения его основных задач, включая диагностику, мониторинг, и анализ данных о заболеваемости, климатических условиях и других факторах, выявление трендов в заболеваемости, способных указывать на возможность эпидемии, выработку обоснованных оперативных решений с учетом оптимального распределения ресурсов. Среди технологий, которые могут быть внедрены в эпидемиологическую практику, особое внимание привлекают автоматизированный, с применением цифровых платформ и мобильных приложений, сбор и анализ данных, алгоритмы машинного обучения для выявления паттернов, прогнозирования распространения инфекций и оценки эффективности предпринимаемых контрмер, а также для связи и обмена информацией между учреждениями санитарно-эпидемиологической службы. Особый интерес представляет использование ИИ в сочетании с геопространственными технологиями и создание геоинформационных систем для отслеживания распространения инфекций и принятия решений о наиболее эффективных местах проведения санитарно-профилактических мероприятий. Внедрение и интеграция ИИ технологий может быть осуществлена путем создания специализированных программ и систем управления данными для сбора, анализа и визуализации эпидемиологической информации и реализации решений, адаптированных к конкретным потребностям санитарно-эпидемиологических служб. Создание единой цифровой экосистемы для сбора, хранения, анализа и обмена данными позволит усилить координацию действий между различными отделениями и уровнями системы здравоохранения, ускорить процесс принятия решений и повысить эффективность борьбы с инфекционными заболеваниями.

Подводя итог, искусственный интеллект благодаря своей способности обрабатывать значительные массивы данных, выявлять закономерности и тенденции, предсказывать развитие эпидемий и помогать в принятии решений по их купированию будет играть все более важную роль в современной практической эпидемиологии.

ЛИТЕРАТУРА (П. П. 1, 5, 10-15, 17, 20, 26-28 СМ. R E F E R E N C E S)

- Фершт В.М., Латкин А.П., Иванова В.Н. Современные подходы к использованию искусственного интеллекта в медицине. Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. 2020; 12(1): 121-30. DOI: 10.24866/VVSU/2073-3984/2020-1/121-130
- Алексеева М.Г., Зубова И., Новиков М.Ю. Искусственный интеллект в медицине. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2022; 7-2(121): 10-13. <https://research-journal.org/archive/7-121-2022-july/artificial-intelligence-in-medicine> (дата обращения: 05.08.2024). DOI: 10.23670/IRJ.2022.121.7.038
- Мамедова Л.Э., Иванова Л.Н., Алтаев Е.С. Основные аспекты технологии искусственного интеллекта. *Известия высших учебных заведений. Серия «Экономика, финансы и управление производством»*. 2023; 57(3): 78-88. DOI: 10.6060/ivecofin.2023573. 656.
- Постановление Правительства РФ от 30 июня 2021 г. № 1100 "О федеральном государственном санитарно-эпидемиологическом контроле (надзоре)" <http://government.ru/docs/all/135469/> (дата обращения: 05.08.2024)
- Симонова Е.Г. Современный этап развития эпидемиологического надзора и перспективы его совершенствования. *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. 2017; 16(4): 4-7. DOI: 10.31631/2073-3046-2017-16-4-4-7
- Гусев А.В. Перспективы нейронных сетей и глубокого машинного обучения в создании решений для здравоохранения. *Врач и информационные технологии*. 2017; 3: 92-105.
- Кузин А. А., Глушаков Р. И., Парфенов С. А., Сапожников К. В., Лазарев А. А. Разработка системы прогноза развития инфекционных заболеваний на основе искусственного интеллекта. *Фундаментальная и клиническая медицина*. 2023; 8(3): 143-154. DOI: 10.23946/2500-0764-2023-8-3-143-154.
- Марданлы С.Г. Эпидемиологический надзор за инфекциями TORCH-группы на основе современных технологий лабораторной диагностики. Автореф. дисс. на соискание ученой степени доктора медицинских наук. ЦНИИЭ МЗ РФ. М., 2016.
- Корчажкина О.М. Исследование экстремальных условий протекания деструктивных процессов с помощью SIR-модели. *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. 2020; 16(3): 610-22.
- Гаврилов Д.В., Абрамов Р.В., Кирилкина А.В., Ившин А.А., Новицкий Р.Э. Модель прогнозирования пандемии COVID-19 на основе машинного обучения в отдельных регионах Российской Федерации. *Фармакоэкономика. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология*. 2021; 14(3): 342-56. DOI: 10.17749/2070-4909/farmakoekonomika. 2021. 108
- Акиншина Ю.А., Марданлы С.Г., Ротанов С.В., Гашенко Т.Ю. Одноэтапное выявление маркеров возбудителей острых кишечных вирусных инфекций у человека. *Эпидемиология и инфекционные болезни*. 2024; 29 (2): 97-106. DOI: <https://doi.org/10.51620/3034-1981-2024-29-2-97-106>
- Бакаев В.В., Марданлы С.Г., Ханина М.А., Гашенко Т.Ю., и Жигалева О.Н. Эпидемиологические исследования в контексте пандемии COVID-19 и эпидемий гриппа: от настоящего к будущему (обзор литературы). *Эпидемиология и инфекционные болезни*. 2024; 29(1): 5-9. DOI: 10.51620/EIB-2024-29-1-5-9
- Жигалева О.Н., Ермолаев И.И., Марданлы С.Г., Гашенко Т.Ю., Помазанов В.В. Разработка набора реагентов для обнаружения РНК вируса SARS-CoV-2 в назо- и орофарингеальных мазках методом прямой полимеразной цепной реакции в режиме реального времени. *Клиническая лабораторная диагностика*. 2022; 67(12): 739-43. DOI: 10.51620/0869-2084-2022-67-12-739-743
- Марданлы С.Г., Попова Т.В. Разработка иммуноферментной системы для выявления специфических IgG к коронавирусу SARS-COV-2 методом иммунного блоттинга в формате «line blot». *Эпидемиология и Вакцинопрофилактика*. 2022; 21(4): 103-12. DOI: 10.31631/2073-3046-2022-21-4-103-112
- Кутырев В.В., Попова А.Ю., Смоленский В.Ю., Ежлова Е.Б., Демина Ю.В., Сафронов В.А., Карнаухов И.Г., Иванова А.В., Щербак С.А. Эпидемиологические особенности новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Сообщение 1: Модели реализации профилактических и противоэпидемических мероприятий. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2020; 1: 6-13. DOI: 10.21055/0370-1069-2020-1-6-13
- Хохлов А.Л., Белоусов Д.Ю. Этические аспекты применения программного обеспечения с технологией искусственного интеллекта. *Качественная клиническая практика*. 2021; 1: 70-84. https://www.rospotrebnadzor.ru/about/info/news/news_details.php?ELEMENT_ID=26297. (дата обращения: 05.08.2024)
- <https://www.pnp.ru/social/sledstvie-vedyot-rospotrebnadzor.html> (дата обращения: 05.08.2024)
- <https://sudact.ru/law/pasport-federalnogo-proekta-iskusstvennyi-intellekt-natsionalnoi-programmy> (дата обращения: 05.08.2024)
- Thiebout R., Thiessard F. Artificial intelligence in public health and epidemiology. *IMIA Yearbook of Medical Informatics*. 2018; 27(1): 207-9. DOI: 10.1055/s-0038-1667082

R E F E R E N C E S

2. Fersht V.M., Latkin A.P., Ivanova V.N. Modern approaches to the use of artificial intelligence in medicine. *Bulletin of Vladivostok State University of Economics and Service*. 2020; 12(1): 121-30. DOI: 10.24866/VVSU/2073-3984/2020-1/121-130 (in Russ.)
3. Alekseeva M.G., Zubov A.I., Novikov M.Yu. Artificial intelligence in medicine. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2022; 7-2(121): 10-13. <https://research-journal.org/archive/7-121-2022-july/artificial-intelligence-in-medicine>. DOI: 10.23670/IRJ.2022.121.7.038 (in Russ.)
4. Mamedova L.E., Ivanova L.N., Altaev E.S. Key aspects of artificial intelligence technology. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya «Jekonomika, finansy i upravlenie proizvodstvom»*. 2023; 57(3): 78-88. DOI: 10.6060/ivecofin.2023573.656 (in Russ.)
5. Beam A.L., Kohane A.S. Big data and machine learning in health care. *JAMA*. 2018; 319(13): 1317-18. DOI: 10.1001/jama.2017.18391
6. Resolution of the Government of the Russian Federation dated June 30, 2021; No. 1100 "On Federal State Sanitary and Epidemiological Control (Surveillance)" <http://government.ru/docs/all/135469/> (accessed: 05.08.2024) (in Russ.)
7. Simonova E.G. The modern stage of development of epidemiological surveillance and the prospects for its improvement. *Jepidemiologija i vakcinoprofilaktika*. 2017; 16(4): 4-7. DOI: 10.31631/2073-3046-2017-16-4-4-7 (In Russ.)
8. Gusev A.V. Prospects of neural networks and deep machine learning in creating solutions for healthcare. *Vrach i informacionnye tehnologii*. 2017; 3: 92-105. (in Russ.)
9. Kuzin A.A., Glushakov R.I., Parfenov S.A., Sapozhnikov K.V., Lazarev A.A. Development of a system for forecasting the development of infectious diseases based on artificial intelligence. *Fundamental'naja i klinicheskaja medicina*. 2023; 8(3): 143-154. DOI: 10.23946/2500-0764-2023-8-3-143-154 (in Russ.)
10. Heesterbeek H, Anderson R.M., Andreasen V, Bansel S, De Angelis D, Dye C, et al. Modeling infectious disease dynamics in the complex landscape of global health. *Science*. 2015; 347: aaa4339. DOI: 10.1126/science.aaa4339
11. Chiung Ching Ho, Choo-Yee Ting, and Dhesi Baha Raja. Using public open data to predict Dengue epidemic: Assessment of weather variability, population density, and land use as predictor variables for Dengue outbreak prediction using support Vector machine. *Indian J. Sci. Technol.* 2018; 11(4): 1-8. DOI: 10.17485/ijst/2018/v11i4/115405
12. Halasa T., Dürr S. Editorial: Modeling disease spread and control. *Front Vet. Sci.* 2017; 21(4): 199. DOI: 10.3389/fvets.2017.00199.
13. Weimken T.L., Kelley R. R. Machine learning in epidemiology and health outcome research. *Annual Review of Public Health*. 2019; 41(1): 21-36. DOI:10.1146/annurev-publhealth-040119-094437
14. Tessmer H.L., Ito K., Omori R. Can machines learn respiratory virus epidemiology?: A comparative study of likelihood-free methods for the estimation of epidemiological dynamics. 2018; *Front. Microbiol.* 9: 343. DOI: 10.3389/fmicb.2018.00343
15. Giuste F., Shi W., Zhu Y., Naren T., Isgut M., Sha Y., Tong L., Gupte M., Wang M.D. Explainable Artificial Intelligence methods in combating pandemics: A Systematic Review. *IEEE Rev. Biomed. Eng.* 2023; 16: 5-21. DOI: 10.1109/RBME.2022.3185953
16. Mardanly S.G. Epidemiological surveillance of TORCH group infections based on modern laboratory diagnostic technologies. Author's abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Medical Sciences. Central Research Institute of Epidemiology of the Ministry of Health of the Russian Federation. Moscow, 2016. (in Russ.)
17. Murakami, T., Sakuragi, S., Deguchi, H., Nakata M. Agent-based model using GPS analysis for infection spread and inhibition mechanism of SARS-CoV-2 in Tokyo. *Sci Rep*. 2022; 12, 20896. <https://DOI.org/10.1038/s41598-022-25480-z>
18. Korchazhkin O.M. Study of extreme conditions of destructive processes using the SIR model. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie*. 2020; 16(3): 610-22. (in Russ.)
19. Gavrilov D.V., Abramov R.V., Kirilkina A.V., Ivshin A.A., Novitsky R.E. Model for forecasting the COVID-19 pandemic based on machine learning in individual regions of the Russian Federation. *Pharmacoeconomics. Sovremennaja farmakoeconomika i farmakojepidemiologija*. 2021; 14(3): 342-56. DOI: 10.17749/2070-4909/farmakoeconomika.2021.108 (in Russ.)
20. Thadani, N.N., Gurev, S., Notin, P. et al. Learning from pre-pandemic data to forecast viral escape. *Nature*. 2023; 622, 818-25. DOI: 10.1038/s41586-023-06617-0
21. Akinshina Yu.A., Mardanly S.G., Rotanov S.V., Gashenko T.Yu. One-stage detection of markers of causes of acute intestinal viral infection in humans. *Epidemiologiya i Infektsionnye bolezni*. 2024; 29 (2): 97-106 (in Russian) DOI: <https://DOI.org/10.51620/3034-1981-2024-29-2-97-106>. (in Russ.)
22. Bakayev V.V., Mardanly S.G., Khanina M.A., Gashenko T.Yu., Zhigaleva O.N. Epidemiological studies in the context of the COVID-19 pandemic and influenza epidemics: from present to future (review of literature). *Epidemiologiya i Infektsionnye bolezni*. 2024; 29(1): 5-9. DOI: 10.51620/EIB-2024-29-1-5-9 (in Russ.)
23. Zhigaleva O.N., Ermolaev I.I., Mardanly S.G., Gashenko T.Yu., Pomanzanov V.V. Development of a set of reagents for the detection of SARS-CoV-2 virus RNA in naso- and oropharyngeal smears using direct polymerase chain reaction in real time. *Klinicheskaya Laboratornaya Diagnostika*. 2022; 67(12): 739-43. DOI: 10.51620/0869-2084-2022-67-12-739-743 (in Russ.)
24. Mardanly S.G., Popova T.V. Development of an enzyme-linked immunosorbent system for the detection of specific IgG to the SARS-CoV-2 coronavirus by immunoblotting in the "line blot" format. *Epidemiologiya i Vaktsinoprofilaktika*. 2022; 21(4): 103-12. DOI: 10.31631/2073-3046-2022-21-4-103-112 (in Russ.)
25. Kutyrev V.V., Popova A.Yu., Smolensky V.Yu., Ezhlova E.B., Demina Yu.V., Safronov V.A., Karnaukhov I.G., Ivanova A.V., Shcherbakova S.A. Epidemiological features of the new coronavirus infection (COVID-19). Message 1: Models for the implementation of preventive and anti-epidemic measures. *Problemy osobo opasnykh infektsiy*. 2020; 1: 6-13. DOI: 10.21055/0370-1069-2020-1-6-13 (in Russ.)
26. Khokhlov A.L., Belousov D.Yu. Ethical aspects of using software with artificial intelligence technology. *Kachestvennaja klinicheskaja praktika*. 2021; 1: 70-84. (in Russ.)
27. Smuha N.A. The EU approach to ethics guidelines for Trustworthy Artificial Intelligence. *Comput. Law Rev. Int.* 2019; 20(4): 97-106. DOI: 10.9785/cr-2019-200402
28. Tzachor, A., Whittlestone, J., & Sundaram, L. Artificial intelligence in a crisis needs ethics with urgency. *Nature Machine Intelligence*. 2020; 2(7), 365-66. DOI: 10.1038/s42256-020-0195-0
29. Stephen Cave, Jess Whittlestone, Rune Nyhuus et al. Ethical use of AI to combat COVID-19. *BMJ*. 2021; 372: n364. DOI: 10.1136/bmj.n364
30. https://www.rospotrebnadzor.ru/about/info/news/news_details.php?ELEMENT_ID=26297.
31. <https://www.pnp.ru/social/sledstvie-vedyot-rospotrebnadzor.html>
32. <https://sudact.ru/law/pasport-federalnogo-proekta-iskusstvennyi-intellekt-natsionalnoi-programmy>