

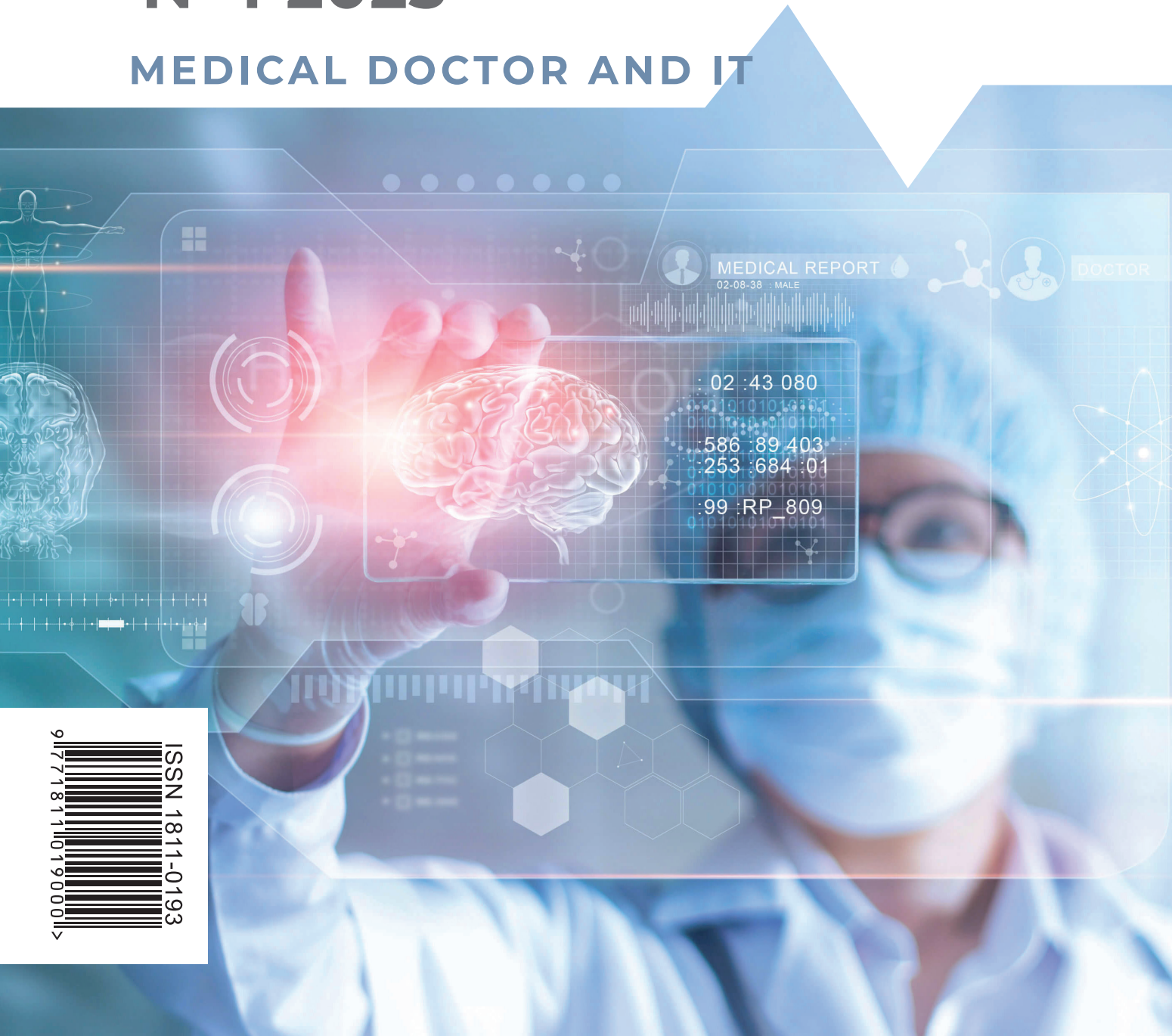


ВРАЧ

И ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

№4 2023

MEDICAL DOCTOR AND IT



ISSN 1811-0193
9 1771811019000 >

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК по специальностям:

- 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки);
- 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей (технические науки);
- 3.3.9. Медицинская информатика (биологические науки);
- 3.3.9. Медицинская информатика (медицинские науки).

Журнал индексируется в базе данных Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science.

The journal is included in the Russian Science Citation Index (RSCI) database on the Web of Science platform.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Карпов О.Э., академик РАН, д.м.н., проф., генеральный директор ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия

ПОЧЕТНЫЙ ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Стародубов В.И., академик РАН, д.м.н., проф., научный руководитель ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, представитель России в Исполнительном Комитете ВОЗ, Москва, Россия

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Зарубина Т.В., д.м.н., член-корреспондент РАН, проф., заведующая кафедрой медицинской кибернетики и информатики, ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия

Гусев А.В., к.т.н., член экспертного совета Минздрава по вопросам использования ИКТ, старший научный сотрудник ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, директор по развитию компании «К-Скай», Петрозаводск, Россия

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Андриков Д.А., к.т.н., доцент Инженерной Академии ФГАОУ ВО РУДН, директор компании «Иммersed», Москва, Россия

Владимирский А.В., д.м.н., заместитель директора по научной работе ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва, Россия

Грибова В.В., член-корреспондент РАН, д.т.н., заместитель директора по научной работе ФГБУ «Институт автоматизации и процессов управления» Дальневосточного отделения РАН, Владивосток, Россия

Гулиев Я.И., к.т.н., директор Исследовательского центра медицинской информатики ИПС РАН им. А.К. Айламазяна, Ярославль, Россия

Зингерман Б.В., руководитель направления цифровой медицины ИНВИТРО, Москва, Россия

Карась С.И., д.м.н., специалист отдела координации научной и образовательной деятельности НИИ кардиологии ФГБНУ «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», профессор кафедры медицинской и биологической кибернетики ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России, Томск, Россия

Лебедев Г.С., д.т.н., директор института цифровой медицины, заведующий кафедрой информационных и интернет технологий ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России, Москва, Россия

Неусыпин К.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой системы автоматического управления МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Пролетарский А.В., д.т.н., профессор, декан факультета «Информатика и системы управления» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Реброва О.Ю., д.м.н., профессор кафедры медицинской кибернетики и информатики, ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия

Столбов А.П., д.т.н., профессор кафедры организации здравоохранения, медицинской статистики и информатики ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России, Москва, Россия

Храмов А.Е., д.ф.м.н., профессор, руководитель Балтийского центра нейротехнологий и искусственного интеллекта Балтийского федерального университета им. И. Канта, Калининград, Россия

Швырев С.Л., к.м.н. заместитель руководителя Регламентной службы федерального реестра НСИ ФГБУ ЦНИИОИЗ Минздрава России, Москва, Россия

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Писарчик А., к.б.н., проф., заведующий кафедрой вычислительной биологии, центр биомедицинских технологий, Мадридский технический университет, Мадрид, Испания

CHIEF EDITOR

Karpov O.E., Academician of the RAS, DSc, Prof., General Director of the Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow, Russia

HONORARY CHIEF EDITOR

Starodubov V.I., Academician of the RAS, DSc, Prof., Scientific Director of the FRIHOI of MoH of Russia, Representative of Russia in the WHO Executive Committee, Moscow, Russia

DEPUTY CHIEF EDITORS

Zarubina T.V., DSc, Corresponding Member of the RAS, Ptof., Head of the Department of Medical Cybernetics and Informatics, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

Gusev A.V., PhD, member of the expert council of the Ministry of Health on the use of ICT, Senior Researcher of the FRIHOI of MoH of Russia, development director of the K-Sky company, Petrozavodsk, Russia

EDITORIAL BOARD

Andrikov D.A., PhD, Associate Prof. of the Engineering Academy of the RUDN University, Director of Immersed, Moscow, Russia

Vladimirsky A.V., DSc, Deputy Director for Research, Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies Department of Health of the City of Moscow, Moscow, Russia

Gribova V.V., Corresponding Member of the RAS, DSc, Deputy Director for Research of the Federal State Budgetary Institution "Institute of Automation and Control Processes" of the Far Eastern Institute of the RAS Branch, Vladivostok, Russia

Guliev Ya.I., PhD, Director of the Research Center for Medical Informatics of the Institute of Applied Problems of the Russian Academy of Sciences named after A.K. Ailamazyan, Yaroslavl, Russia

Zingerman B.V., Head of Digital Medicine, INVITRO, Moscow, Russia

Karas S.I., DSc, Specialist of the Department for Research and Training Coordination, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre, Russian Academy of Sciences; Professor at the Medical and Biological Cybernetics Chair, Siberian State Medical University, Tomsk, Russia

Lebedev G.S. DSc, Director of The Digital Health Institute, Head of The Department of information and Internet technologies, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

Neusypin K.A., DSc, Prof., Head of the Automatic Control Systems Dept., Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Proletarsky A.V., DSc, Prof., Dean of the Informatics, and Control Systems Department, Bauman University, Moscow, Russia

Rebrova O.Yu., DSc, Prof. of the Department of Medical Cybernetics and Informatics, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

Stolbov A.P., DSc, Prof. of the Department of Public Health Organization, Medical Statistics and Informatics of the Faculty of Professional Development of Doctors of the I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

Khramov A.E., DSc, Prof., Head of Baltic Center for Neurotechnology and Artificial Intelligence, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Shvyrev S.L., PhD, Deputy Head of the Regulatory Service of the Federal Register of the FRIHOI of MoH of Russia, Moscow, Russia

FOREIGN MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

Pisarchik A., PhD, Prof., Head of Department of Computational Biology, Center of Biomedical Technologies, Technical University of Madrid, Spain

Издается с 2004 года.

Включен в перечень ВАК ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендуемых для опубликования основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата и доктора наук.

Читатели могут принять участие в обсуждении статей, опубликованных в журнале «Врач и информационные технологии», и направить актуальные вопросы в редакцию (vit-j@pirogov-center.ru).

Журнал зарегистрирован Министерством Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Товарный знак и название «Врач и информационные технологии» являются исключительной собственностью ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России.

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, статистических данных и прочих сведений, а также за то, что в материалах не содержится данных, не подлежащих открытой публикации.

Материалы рецензируются редакционной коллегией. Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.

Перепечатка текстов без разрешения журнала «Врач и информационные технологии» запрещена. При цитировании материалов ссылка на журнал обязательна.

За содержание рекламы ответственность несет рекламодатель.

Учредитель — ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России.
Издатель — ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России.

Адрес редакции:

105203, г. Москва,
ул. Нижняя Первомайская, д. 70,
e-mail: vit-j@pirogov-center.ru.
Тел. +7 (499) 464-03-03.

Главный редактор:

Карпов О.Э., академик РАН,
д.м.н., проф.

Почетный главный редактор:

Стародубов В.И.,
академик РАН, д.м.н., проф.

Зам. главного редактора:

Зарубина Т.В., член-корреспондент РАН,
д.м.н., проф.

Гусев А.В., к.т.н.

Компьютерная верстка и дизайн:

Издательство Пироговского Центра.

Подписные индексы:

Каталог агентства «Роспечать» — 82615.

Отпечатано в типографии ООО «Вива-Стар»
г. Москва, ул. Электровзаводская, д. 20
www.vivastar.ru

Подписано в печать 25 декабря 2023 г.

Общий тираж 1000 экз.

Распространяется бесплатно.

© Издательство Пироговского Центра

ОБЗОРЫ

Поликарпов А.В., Голубев Н.А., Огрызко Е.В., Руголь Л.В.

**ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ
В МИРЕ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ 4**

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Бобровская Т.М., Васильев Ю.А., Никитин Н.Ю., Арзамасов К.М.

**ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ НАБОРОВ ДАННЫХ
В ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ 14**

Астанин П.А., Ронжин Л.В., Федоров А.А., Раузина С.Е., Зарубина Т.В.

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗВЛЕЧЕНИЯ
АББРЕВИАТУР ТЕРМИНОВ УНИФИЦИРОВАННОЙ
НАЦИОНАЛЬНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ
ИЗ ТЕКСТОВ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ 24**

Васильев Ю.А., Гусев А.В., Михайлова А.А., Шарова Д.Е.,

Арзамасов К.М., Владимирский А.В.

**ЭТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
ДЛЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ 36**

Кремнева Е.И., Сморгочкова А.К., Хоружая А.Н., Семенов Д.С.,

Мальцев А.В., Шарова Д.Е., Зинченко В.В., Владимирский А.В.

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАБОРОВ ДАННЫХ
ДЛЯ СЕРВИСОВ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ
В НЕЙРОВИЗУАЛИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ СОЗДАНИЯ
НАБОРА ДАННЫХ С КТ-ИЗОБРАЖЕНИЯМИ ГОЛОВНОГО
МОЗГА С ПРИЗНАКАМИ КРОВОИЗЛИЯНИЯ 42**

Васильев Ю.А., Арзамасов К.М., Колсанов А.В., Владимирский А.В.,

Омелянская О.В., Пестренин Л.Д., Нечаев Н.Б.

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО
ИНТЕЛЛЕКТА НА ДАННЫХ 800 ТЫСЯЧ
ФЛЮОРОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ 54**

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ

Демкина А.Е., Ловцева В.А., Дубровина К.С., Асланова Т.М.,

Рогожкина Ю.А., Карпова И.А., Зингерман Б.В., Бородин Р.А.,

Исаева А.В., Коробейникова А.Н.

**АПРОБАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ДИСТАНЦИОННОГО
МОНИТОРИНГА У БЕРЕМЕННЫХ ГРУППЫ РИСКА 66**

REVIEWS

Polikarpov A.V., Golubev N.A., Ogryzko E.V., Rugol L.V.
HISTORY OF THE DEVELOPMENT OF GEOINFORMATION SYSTEMS IN THE WORLD AND THEIR USE IN HEALTHCARE..... 4

ORIGINAL RESEARCH

Bobrovskaya T.M, Vasilev Yu.A., Nikitin N.Yu., Arzamasov K.M.
APPROACHES TO BUILDING RADIOLOGY DATASETS 14

Astanin P.A., Ronzhin L.V., Fedorov A.A., Rauzina S.E., Zarubina T.V.
AUTOMATED ABBREVIATIONS RECOGNITION SYSTEM FOR UNIFIED NATIONAL MEDICAL NOMENCLATURE FILLING WITH USING RUSSIAN LANGUAGE UNSTRUCTURED TEXT OF ARTICLES..... 24

Vasiliev Y.A., Gusev A.V., Mikhailova A.A., Sharova D.E., Arzamasov K.M., Vladzimirskyy A.V.
ETHICAL PRINCIPLES OF THE DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS FOR HEALTHCARE 36

Kremneva E.I., Smorchkova A.K., Khoruzhaya A.N., Semenov D.S., Maltsev A.V., Sharova D.E., Zinchenko V.V., Vladzimirskyy A.V.
SPECIAL ASPECTS OF DATASET CREATION FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE SERVICES IN NEUROIMAGING: THE CASE OF A DATASET CREATION WITH CT IMAGES OF THE BRAIN WITH SIGNS OF HEMORRHAGE 42

Vasilev Y.A., Arzamasov K.M., Kolsanov A.V., Vladzimirskyy A.V., Omelyanskaya O.V., Pestrenin L.D., Nechaev N.B.
EXPERIENCE OF APPLICATION ARTIFICIAL INTELLIGENCE SOFTWARE ON 800 THOUSAND FLUOROGRAPHIC STUDIES..... 54

PRACTICE EXPERIENCE

Demkina A.E., Lovtseva V.A., Dubrovina K.S., Aslanova T.M., Rogozhkina Yu.A., Karpova I.A., Zingerman B.V., Borodin R.A., Isaeva A.V., Korobeynikova A.N.
APPROBATION OF SELF-REMOTE MONITORING IN HIGH-RISK PREGNANT WOMEN 66

MEDICAL DOCTOR AND INFORMATION TECHNOLOGIES

Registration certificate
 PI No. FS77-80906 dated April 09, 2021

Published since 2004.

This journal is included in the list of the Higher Attestation Commission, detailing leading peer-reviewed scientific journals and publications recommended for publishing the foremost scientific results of dissertations for the degree of candidate and doctor of sciences.

Readers may take part in the discussion of articles published in the journal «Medical Doctor and Information Technologies», and send topical questions to the editorial office (vit-j@pirogov-center.ru).

The journal is registered by the Ministry of the Russian Federation for Press, TV and Radio Broadcasting, and Mass Media. The trademark and name «Medical Doctor and Information Technologies» are the exclusive property of the Pirogov National Medical and Surgical Center.

The authors of the published materials are responsible for the selection and accuracy of the facts, quotes, statistical data and other information, as well as ensuring that the materials do not contain data that is not subject to open publication.

The materials are reviewed by the editorial board. Editorial opinion may not reflect the views of the author.

Reprinting of texts without the permission of the journal «Medical Doctor and Information Technologies» is prohibited. When citing materials, a reference to the journal is required.

The advertiser is responsible for the content of the advertisement.

Founder — Pirogov National Medical and Surgical Center.

Publisher — Pirogov National Medical and Surgical Center.

Editorial office address:

105203, Moscow, st. Nizhnyaya Pervomayskaya, 70, e-mail: vit-j@pirogov-center.ru. +7(499) 464-03-03.

Chief Editor:

Karpov O.E., Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Prof.

Honorary chief editor:

Starodubov V.I., Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Prof.

Deputy chief editors:

Zarubina T.V., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, prof.

Gusev A.V., Ph.D.

DTP and design:

Pirogov Center Publishing House.

Subscription indexes:

Catalogue of the agency «Rospechat» — 82615.

Printed in the «Viva-Star» Moscow, st. Elektrozavodskaya, 20 www.vivastar.ru

Signed for printing on December 25,, 2023.

Circulation 1000 copies.

Free distribution.

© Pirogov Center Publishing House

ПОЛИКАРПОВ А.В.,

к.м.н., ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, г. Москва, Россия,
e-mail: polikarpov@mednet.ru

ГОЛУБЕВ Н.А.,

к.м.н., ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, г. Москва, Россия,
e-mail: golubev@mednet.ru

ОГРЫЗКО Е.В.,

д.м.н., ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, г. Москва, Россия,
e-mail: ogrev@mednet.ru

РУГОЛЬ Л.В.,

д.м.н., ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, г. Москва, Россия,
e-mail: rugol@mednet.ru

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В МИРЕ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ

DOI: 10.25881/18110193_2023_4_4

Аннотация. Картографическое представление информации является особенно востребованным и наглядным для освещения глобальных и региональных событий, а также оценки размещения на исследуемой территории стационарных и не стационарных объектов. Геоинформационные системы (ГИС) в эпидемиологическом надзоре за паразитарными болезнями обеспечивают сбор, хранение, обработку, доступ к информации, отображение и распространение пространственно-координированных данных, которые могут быть применены для решения научных и прикладных задач: анализа, мониторинга, оценки, прогноза распространения паразитов и поддержания санитарно-эпидемиологического благополучия населения.

Цель. Изучить основные этапы истории развития геоинформационных систем в мире с учетом возможностей применения для нужд здравоохранения.

Материалы и методы. Были использованы научные публикации отечественных и зарубежных авторов по изучаемой проблеме за период с 2000 по 2023 годы. Контекстный поиск включал ключевые слова «геоинформационный», «ГИС», «GIS». Инструменты поиска включали научную электронную библиотеку eLIBRARY.RU и поисковые системы google и Яндекс. Был отобран 31 источник, из них 17 отечественных. Использованы описательный, аналитический методы, метод ретроспективного исторического анализа, контент-анализа.

Результаты. В статье приводится история развития ГИС в мире, в которой условно можно выделить четыре этапа: пионерский период, период государственных инициатив, период коммерческого развития, пользовательский период. Приведены сферы и примеры использования ГИС в эпидемиологии и планировании систем здравоохранения.

Заключение. Совершенствование ГИС-технологий и программных средств в здравоохранении позволяет упростить анализ информации о стационарных и нестационарных объектах, повысить качество аналитической информации и ее достоверность.

Ключевые слова: геоинформационные системы, ГИС, здравоохранение.

Для цитирования: Поликарпов А.В., Голубев Н.А., Огрызко Е.В., Руголь Л.В. История развития геоинформационных систем в мире и их использование в здравоохранении. Врач и информационные технологии. 2023; 4: 4-13. doi: 10.25881/18110193_2023_4_4.

POLIKARPOV A.V.,

PhD, Federal State Budgetary Institution «Central Research Institute of Organization and Informatization of Healthcare» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia, e-mail: pov_alex@rambler.ru

GOLUBEV N.A.,

PhD, Federal State Budgetary Institution «Central Research Institute of Healthcare Organization and Informatization» of the Ministry of Health of Russia, Moscow, Russia, e-mail: golubev@mednet.ru

OGRYZKO E.V.,

DSc, Federal State Budgetary Institution «Central Research Institute of Organization and Informatization of Healthcare» of the Ministry of Health of Russia, Moscow, Russia, e-mail: ogrev@mednet.ru

RUGOL L.V.,

DSc, Federal State Budgetary Institution «Central Research Institute for Organization and Informatization of Health Care» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia, e-mail: rugollv@mednet.ru

HISTORY OF THE DEVELOPMENT OF GEOINFORMATION SYSTEMS IN THE WORLD AND THEIR USE IN HEALTHCARE

DOI: 10.25881/18110193_2023_4_4

Abstract. Cartographic presentation of information is especially in demand and visual for covering global and regional events, as well as assessing the location of stationary and non-stationary objects in the study area. Geoinformation systems (GIS) in epidemiological surveillance of parasitic diseases provide collection, storage, processing, access to information, display and dissemination of spatially coordinated data that can be used to solve scientific and applied problems: analysis, monitoring, assessment, forecasting the spread of parasites and maintaining sanitary epidemiological well-being of the population.

Aim. To study the main stages of the history of GIS development in the world considering the possibilities of GIS application in healthcare.

Materials and methods. Scientific publications of domestic and foreign authors on the problem from 2000 to 2023 were used. The contextual search included the keywords “geographic information”, “GIS” (in Russian and English). Search tools included the scientific electronic library eLIBRARY.RU and search engines Google and Yandex. 31 sources were found, of which 17 were domestic. Descriptive, analytical methods, the method of retrospective historical analysis, and content analysis were used.

Results. The article presents the history of GIS development in the world, consisting of four stages — the pioneer period, the period of government initiatives, the period of commercial development, the user period. The areas and examples of the use of GIS in epidemiology and in the planning of healthcare systems are given.

Conclusion. Improvement of GIS technologies and software in healthcare makes it easier to analyze data on stationary and non-stationary objects, as well as it improves quality and validity of analytical information.

Keywords. Geoinformation systems, history, healthcare.

For citation: Polikarpov A.V., Golubev N.A., Ogryzko E.V., Rugol L.V. History of the development of geoinformation systems in the world and their use in healthcare. Medical doctor and information technology. 2023; 4: 4-13. doi: 10.25881/18110193_2023_4_4.

ВВЕДЕНИЕ

Картографическое представление информации является особенно востребованным и наглядным для освещения глобальных и региональных событий, а также оценки размещения на исследуемой территории стационарных и нестационарных объектов [3]. Геоинформационные системы (ГИС) в эпидемиологическом надзоре за паразитарными болезнями обеспечивают сбор, хранение, обработку, доступ к информации, отображение и распространение пространственно-координированных данных, которые могут быть применены для решения научных и прикладных задач: анализа, мониторинга, оценки, прогноза распространения паразитов и поддержания санитарно-эпидемиологического благополучия населения [5, 6].

Цель исследования. Изучить основные этапы истории развития ГИС в мире с учетом возможностей применения для нужд здравоохранения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Были использованы научные публикации отечественных и зарубежных авторов по изучаемой проблеме за период с 2000 по 2023 годы. Контекстный поиск включал ключевые слова «геоинформационный», «ГИС», «GIS». Инструменты поиска включали научную электронную библиотеку eLIBRARY.RU и поисковые системы google и Яндекс. Был отобран 31 источник, из них 17 отечественных. Используются описательный, аналитический методы, метод ретроспективного исторического анализа, контент-анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате контент-анализа были отобраны материалы, которые характеризовали историю развития ГИС в системе здравоохранения: начиная от первых эпидемиологических исследований, до современного территориального планирования сети медицинских организаций.

Анализ отобранных литературных источников позволяет осуществить периодизацию этапов развития ГИС с точки зрения их применения в здравоохранении как в Российской Федерации, так и в мире.

Основы применения методов геоинформационного отображения в медицинской географии были заложены английским анестезиологом и эпидемиологом Джоном Сноу еще в 1854 году во

время вспышки холеры в Лондоне. В поисках источника распространения холеры Джон Сноу наносил на карту места вспышки инфекции. Таким образом, он обнаружил, что очагом возникновения заболевания являлся водозаборный насос [1]. Далее картографический анализ размещения исследуемых объектов применялся и в других аспектах здравоохранения и эпидемиологии.

Особый толчок для развития ГИС дало массовое применения электронных вычислительных машин (ЭВМ). Историю развития ГИС можно условно разделить на три этапа [2–5] (рис. 1).

I этап развития ГИС, пионерский, характеризуется успехом внедрения компьютерных технологий во все сферы деятельности человека и охватывает период с поздних 1950 по ранние 1970 годы. На данном этапе появляются ЭВМ, оцифровщики, плоттеры, графические дисплеи и другие периферийные устройства. Создаются программные алгоритмы и процедуры графического отображения информации на дисплеях и с помощью плоттеров, формальные методы пространственного анализа, а также программные средства управления базами данных.

Первые геоинформационные технологии были разработаны в 1950–1960 годах в Западной Европе, США и Канаде. К числу главных достижений этого периода в теории ГИС можно отнести определение принципиальных возможностей ГИС, в практической сфере — разработку первых крупных ГИС.

Самой масштабной и успешной разработкой была ГИС Канады, Canada Geographic Information System (CGIS), созданная под руководством известного английского географа Роджера Томлинсона (Roger Tomlinson). Новаторская работа Роджера Томлинсона по созданию ГИС Канады привела к появлению первой компьютеризированной ГИС в мире в 1963 году. Правительство Канады поручило Томлинсону создать систему по учету природных ресурсов страны. Под руководством Томлинсона была создана автоматизированная вычислительная система для хранения и обработки больших объемов данных, что позволило Канаде начать свою национальную программу управления землепользованием. Также на развитие ГИС оказала Гарвардская лаборатория компьютерной графики и пространственного анализа (Harvard Laboratory for Computer Graphics & Spatial Analysis) Массачусетского



Рисунок 1 — Периодизация развития геоинформационных систем.

технологического университета. Ее основал в середине 1960 годов Говард Фишер (Howard Fisher) с целью разработки программных средств многофункционального компьютерного картографирования, которые сделали существенные шаги в алгоритмическом совершенствовании ГИС. Программное обеспечение Гарвардской лаборатории широко распространилось и помогло создать базу для развития многих ГИС-приложений. Именно в этой лаборатории Дана Томлин (Dana Tomlin) заложила основы картографической алгебры, создав знаменитое семейство растровых программных средств Map Analysis Package (пакет для анализа карт, MAP), включая Professional Map Analysis Package (профессиональный пакет для анализа карт, pMAP), Academic Map Analysis Package (пакет для анализа академических карт, aMAP). Одним из производных программных продуктов, свободно распространяемых в сети интернет, являлся OSU-MAP, созданный в университете штата Огайо выходцами из Гарвардской лаборатории.

Благодаря работам Гарвардской лаборатории в области компьютерного картографирования была закреплена ведущая роль картографических моделей данных, картографического метода исследования и картографических способов представления информации в современных ГИС. Наиболее известными программными продуктами Гарвардской лаборатории являются SYMAP (система многоцелевого картографирования), CALFORM (программа вывода картографического изображения на плоттер), SYMVU (просмотр перспективных (трехмерных) изображений), ODVSSEV (предшественник ARC/INFO). Специалисты этой лаборатории занимались разработкой программного обеспечения для многофункционального компьютерного картографирования.

II этап развития ГИС, период государственных инициатив, характеризуется созданием и развитием крупных геоинформационных проектов под покровительством государства в период с начала 1970 до начала 1980 годов.

Наиболее известной из государственных инициатив данного периода является проведение переписи населения Национальным Бюро Переписей США (U. S. Census Bureau) в 1970 году с использованием специального топологического подхода к организации управления географической информацией на основе формата представления картографических данных Dual Independent Map Encoding (двойное независимое кодирование карты, DIME). Алгоритмы обработки и представления картографических данных были заимствованы у разработчиков ГИС Канады и Гарвардской лаборатории и оформлены в виде программы POLYVRT (POLYgon conVerTer, конвертер полигона), осуществляющей конвертирование адресов проживания в соответствующие координаты, описывающие графические сегменты улиц. Таким образом, в этой разработке впервые был широко использован топологический подход к организации управления географической информацией, содержащий математический способ описания пространственных взаимосвязей между объектами.

Государственная поддержка ГИС стимулировала развитие экспериментальных работ в области ГИС, основанных на использовании баз данных по уличным сетям, включая автоматизированные системы навигации, системы вывода городских отходов и мусора, движение транспортных средств в чрезвычайных ситуациях и т.д.

Одновременно на основе этой информации была создана серия атласов крупных городов, содержащих результаты Переписи 1970 г., а также большое количество упрощенных компьютерных карт для маркетинга, планирования, розничной торговли и т.д.

III этап развития ГИС, период коммерческого развития, длится с ранних 1980 годов по настоящее время.

Для этого периода характерна массовая коммерческая эксплуатация программных продуктов и приложений ГИС. В 1969 году Джек Денджермонд из Гарвардской лаборатории и его жена Лора (Jack, Laura Dangermond) основали Институт исследования систем окружающей среды (Environmental Systems Research Institute — ESRI). Работы компании продемонстрировали преимущества геоинформационного подхода в решении различных задач. Для более эффективного анализа растущего числа проектов компания

ESRI разработала первый коммерческий продукт — APC/INFO в 1981 году. Семейство разработанных компанией ESRI программных продуктов (ArcGIS) получило широкое распространение в мире и, в частности, в России.

Среди коммерческих ГИС мировых производителей также следует выделить компанию Intergraph Corporation — разработчика в области компьютерной графики и полноценной среды для проектирования и моделирования, Корпорацию Autodesk, которая в 1996 году выпустила программный продукт AutoCAD Map для создания ГИС, компанию MapInfo Corporation — разработчика ГИС MapInfo.

Кроме того, с поздних 1980 годов данный период характеризуется новым отношением к пользователям. Повышенная конкуренция среди коммерческих производителей геоинформационных технологий и услуг, доступность и «открытость» программных средств дают пользователям ГИС возможность использовать и даже модифицировать программы, что стимулирует появление пользовательских «клубов», телеконференций, территориально разобценных, но связанных единой тематикой пользовательских групп.

Программные средства становятся более доступными для рядовых пользователей. Так, американские военные специалисты (Army Corps of Engineers) — разработчики геоинформационного программного продукта GRASS (Geographic Resources Analysis Support System, Система поддержки анализа географических ресурсов), созданного для задач планирования природопользования и землеустройства, открыли его для бесплатного пользования (public-domain), включая снятие авторских прав на исходные тексты программ. В результате, пользователи и программисты могли создавать собственные приложения, интегрируя GRASS с другими программными продуктами. В 1994 году для неограниченного бесплатного пользования был открыт программный продукт «ArcView 1 for Windows», который также стал доступен в сетях интернет.

Насыщение рынка программных средств для ГИС, в особенности предназначенных для персональных компьютеров (Desktop GIS), резко увеличило область применения ГИС-технологий, что потребовало существенных наборов цифровых геоданных, а также наличия специалистов по ГИС. В ряде странах проблемы квалификации

специалистов решались путем формирования государственных национальных и международных инициатив по разработке и созданию так называемых Инфраструктур Геопространственных Данных, включающих вопросы ГИС-технологий, телекоммуникаций, стандартизации данных и профессиональной подготовки.

Так, например, 19 октября 1990 года в США был опубликован Циркуляр А-16, направленный на максимальное развитие национальных цифровых ресурсов пространственной информации с привлечением к этой деятельности федеральных, региональных и местных органов управления, а также частного сектора. Эти национальные информационные ресурсы, взаимосвязанные с помощью единых критериев и стандартов, обеспечивали распространение и эффективный обмен пространственными данными между производителями и пользователями. Для этих целей был создан Федеральный Комитет Пространственных Данных. В развитие Цирюляра А-16 11 апреля 1994 года в США было издано Правительственное распоряжение под названием «Координация в области получения и доступа к данным: Национальная Инфраструктура Пространственных данных» [6].

Nyikiforuk C., Flaman I (2003 год) выделили четыре основных вида использования ГИС в организации здравоохранения:

1. Эпиднадзор за заболеваниями, включая составление карт заболеваний и моделирование болезней;
2. Анализ рисков для здоровья;
3. Доступ к медицинскому обслуживанию и планированию;
4. Профилирование здоровья населения [8, 9].

ГИС является эффективным инструментом для решения вопросов оказания медицинской помощи, особенно связанных с размещением объектов здравоохранения. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) и Всемирный банк подчеркивают, что почти половина населения планеты сталкивается с трудностями в доступе к здравоохранению [7].

Использование ГИС в здравоохранении разных стран мира началось в 1990 годах XX века в рамках Программы ВОЗ по борьбе с дракунгулезом, где одной из первых была разработана и применена компьютерная программа на базе MapObjects компании ESRI HealthMapper

(Медицинский картограф) [10]. С помощью данной программы оказалось возможным достоверно определить сельские районы с неблагоприятными экологическими и социальными условиями в передаче дракунгулеза. Более того, программа HealthMapper позволила визуально определять границы очагов болезни, осуществлять мониторинг первично или повторно инфицированного населения деревень (очагов), что обеспечило возможность оптимального распределения затрат и ресурсов на проведение необходимых мероприятий [11, 12].

Одной из ведущих мировых организаций, использующих ГИС — программное обеспечение в планировании здравоохранения и борьбе с заболеваниями, является Центр по контролю и профилактике заболеваний (CDC), который начал использовать ГИС в 1990 годах [13]. С этого времени ГИС-технологии стали основным инструментом в CDC. Центр использовал эту технологию для улучшения здоровья населения путем эпиднадзора за заболеваниями, распределения ресурсов здравоохранения, оценки экологических рисков, а также управления, анализа и моделирования пространственных данных. В начале двухтысячных годов CDC в сотрудничестве с ВОЗ запустил «Атлас сердечных заболеваний и инсульта», основанный на технологии ArcGIS. Цель разработки этого атласа состояла в том, чтобы предоставить доступный справочник для лиц, принимающих решения в области общественного здравоохранения, что в конечном итоге привело бы к снижению смертности от сердечно-сосудистых заболеваний и инсульта в США за счет распределения ресурсов здравоохранения в соответствии с потребностями в конкретных географических районах.

Современные ГИС сегодня становятся все более важными инструментами для проведения прогнозно-аналитических исследований в эпидемиологии и эпизоотологии. Они позволяют существенно сократить время и снизить трудоемкость исследований, получить требуемые результаты по ходу развития эпидемий или эпизоотий [14]. ГИС используется в эпидемиологическом надзоре за особо опасными инфекциями. Разработка математической имитационной модели чумного эпизоотического процесса и внедрение ГИС в работу противочумных учреждений позволили подготовить концепцию использования

ГИС и технологий дистанционного зондирования в эпиднадзоре за чумой [15].

Согласно Методическому пособию ВОЗ, отличным средством управления данными эпидемиологического надзора и программой их сбора является ГИС. Картирование эпидемиологической информации в целях обзора данных является мощным инструментом не только для мониторинга результатов эпиднадзора, но и для оперативного планирования и направления мероприятий и ресурсов в нуждающиеся районы и сообщества [16].

Технологии ГИС показали свою эффективность в мониторинге пандемии новой коронавирусной инфекции, планировании и разворачивании усилий по борьбе с ней и ее последствиями, оценке доступных ресурсов здравоохранения. Картографические информационные панели, показывающие сложившуюся ситуацию по распространению COVID-19, стали массовыми в использовании благодаря их информативности и наглядности. Так, портал мониторинга распространения коронавируса от университета Джона Хопкинса в Балтиморе был основан на веб-приложении ArcGIS Dashboards от компании ESRI. На 40 Всемирной пользовательской конференции ESRI 2020 года эта разработка была удостоена престижной награды за особые достижения, оказавшие глобальное влияние и привлекшие всеобщее внимание (около 90 тысячч. зарегистрированных участников из 180 стран) [17]. ВОЗ также использует ГИС-карты и дашборды для представления и анализа данных по коронавирусу [18]. На территории России один из вариантов такой панели создан специалистами ESRI GIS на основе веб-приложения ArcGIS Dashboards и размещен на сайте ESRI GIS и, в модифицированном виде, — на сайте агентства РИА новости.

Моделирование в сочетании с обработкой пространственных данных временного пространства позволяют ГИС стать более мощным инструментом для широкого спектра задач в системе здравоохранения не только в эпидемиологических исследованиях, но и в планировании сети медицинских организаций. Среди пионерских работ в сфере родовспоможения следует выделить исследование, в котором приводятся результаты разработки модели, направленной на определение надлежащего уровня сети родильных домов в Британской Колумбии (Канада) [19].

Применение ГИС-технологий для оптимизации оказания медицинской помощи было исследовано на примере расположения родильных домов г. Москвы. Моделирование удаленности территории проводилось в программном обеспечении ArcGIS. Помимо удаленности анализировались данные о числе доступных родильных домов, а также о численности женщин репродуктивного возраста, проживающих на обслуживаемой территории. Путем наложения картографических слоев данных были выделены три района Москвы, в которых в первую очередь необходимо строительство новых родильных домов [20].

Forbers Н. и Todd P. предложили возможные места расположения новых центров для лечения онкологических больных в Англии с использованием ГИС [21]. Luo W. и Wang F. с помощью ГИС разработали модель доступности первичной медико-санитарной помощи населению помощи в районе Чикаго [22]. Tao Z., Cheng Y. изучали доступность медицинских услуг для пожилых людей в Пекине [23].

Проводились работы по анализу состояния и рациональному управлению медицинским обслуживанием населения сельского административного региона с применением ГИС-технологий, анализу доступности медицинской помощи детям на примере г. Санкт-Петербурга, по оценке пространственной доступности межрайонных медицинских центров Забайкальского края [24-26].

В последние годы (с начала второго десятилетия XXI века) в России широко развивается ГИС ЕГИСЗ, которая позволяет оценивать территориальную доступность медицинской помощи населению и на этой основе планировать строительство новых объектов здравоохранения [27].

ОБСУЖДЕНИЕ

Использование ГИС и пространственное представление данных позволяет лучше визуализировать различные проблемы в здравоохранении и обеспечивать оперативное принятие верных рациональных управленческих решений [28].

Агрегированные оперативные данные о числе заболевших и умерших от COVID-19, благодаря применению ГИС-технологий, становятся доступными исследователям всего мира. При этом, для обеспечения сопоставимости информации необходимо использование единообразных критериев [29].

ГИС с большим успехом возможно использовать органам управления здравоохранением для создания региональных интерактивных схем-карт расположения медицинских организаций с целью расчета доступности медицинской помощи, планирования сети медицинских организаций, размещения филиалов и подразделений медицинских организаций, особенно первичного звена, в малонаселенных пунктах, сельской местности. С помощью ГИС можно обеспечить более равномерное распределение ресурсов по территории субъекта РФ и/или муниципального образования, в том числе коечного фонда, медицинского оборудования и т.п. Оценка и анализ инфраструктуры здравоохранения с помощью ГИС крайне важны для регионов с большой долей сельского населения, с низкой плотностью населения, районов Крайнего Севера, Дальнего Востока. Управляя инфраструктурой здравоохранения с помощью ГИС, можно решать и вопросы кадрового обеспечения отрасли, например, проблемы доступности врачей-специалистов для сельских жителей и жителей отдаленных районов. В перспективе использование ГИС позволит снизить уровень смертности населения, особенно сельского, за счет улучшения транспортной доступности медицинских организаций и повышения качества оказания медицинской помощи.

Необходимо отметить, что качество и полнота информации, которая обрабатывается ГИС и используется для принятия управленческих решений, в значительной мере зависит от качества первичных данных, формируемых на уровне медицинских организаций. Применение регистровой или транзакционной модели на основе структурированных электронных медицинских документов (СЭМД) позволяет использовать для визуализации с применением ГИС не только агрегированную отчетную информацию, но и данные регистров и реестров, функционирующих в системе здравоохранения Российской Федерации, что повышает оперативность данных и актуальность использования ГИС [30].

Для проведения работ с использованием ГИС необходимо иметь кадровый потенциал, способный совершенствовать процесс оказания медицинской помощи населению как в отношении принятия управленческих решений, так и в отношении представления полной и достоверной информации о здоровье населения.

При применении ГИС в области здравоохранения в настоящее время существуют проблемы не только в нашей стране, но и в других странах. Например, во Вьетнаме:

- нехватка высококвалифицированных специалистов по ГИС;
- подавляющее большинство работников здравоохранения не имеет понимания о ГИС, а системы ГИС довольно сложны и требуют определенной квалификации для использования;
- специализированные базы данных ГИС в основном создаются по результатам исследовательских технологических проектов и впоследствии (после их завершения) не обновляются;
- отсутствие специализированного оборудования и программного обеспечения;
- инвестиции в ГИС требуют много времени, усилий и финансирования (особенно данные спутниковых изображений [31]).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Историческое развитие ГИС в мире привело к разработкам мощных ГИС такими крупными фирмами как INTERGRAPH, ESRI и др. В подобных ГИС используются большие базы данных, качественная графика, требующая больших объемов машинной памяти. В России ГИС-технологии стали эксплуатироваться лишь в конце 1980 годов, намного позже, чем в Европе и США.

Применение ГИС в здравоохранении особенно востребовано для организации оказания медицинской помощи в сельской местности, отдаленных районах и районах с малой плотностью населения. Необходимо подчеркнуть, что она должна содержать достоверную информацию о состоянии здоровья населения, которая позволит осуществлять мониторинг здоровья и принимать эффективные меры по его поддержанию и укреплению, предотвращению угроз эпидемий. В то же время ГИС является инструментом для анализа распределения медицинских организаций по профилям медицинской помощи, доступности медицинской помощи для населения, в результате которого можно построить модель территориальной доступности медицинских организаций, не допустить ее ухудшения в процессе проведения оптимизации сети медицинских организаций.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Mcleod K.S. Our sense of Snow: The myth of John Snow in medical geography. *Social Science and Medicine*. 2000; 923-935.
2. Родина У.С. Сущность и понятие геоинформационных систем. Студенческий научный форум — 2017. IX Международная студенческая научная конференция. [Rodina U. S. The essence and concept of geoinformation systems. Student Scientific Forum — 2017. IX International Student Scientific Conference. (In Russ.)]
3. Джамединова У.С., Шалтынов А.Т., Конабеков Б.Е., Абильтяев А.М., Мысаев А.О. Применение геоинформационных систем в здравоохранении: обзор литературы // Наука и здравоохранение. — 2018. — №6(20). — С.39-47. [Dzhamedinova US, Shaltynov AT, Konabekov BE, Abiltaev AM, Mусаev AO. Application of geoinformation systems in healthcare: literature review. *Science and healthcare*. 2018; 6(20): 39-47. (In Russ.)]
4. Дупленко АГ. Этапы и тенденции развития геоинформационных систем // Молодой ученый. — 2015. — №9(89). — С.115-117. [Duplenko AG. Stages and trends in the development of geoinformation systems. *A young scientist*. 2015; 9(89): 115-117. (In Russ.)]
5. Жукова Н.В. Использование геоинформационных систем в здравоохранении // Ученые заметки ТОГУ. — 2013. — №4(4). — С.1715-1726. [Zhukova NV. The use of geoinformation systems in healthcare. *Scientific notes of TOGU*: 2013; 4(4): 1715-1726. (In Russ.)]
6. История развития геоинформационных систем <https://e-lib.gasu.ru/eposobia/gis/2.html>. [History of geoinformation systems development <https://e-lib.gasu.ru/eposobia/gis/2.html> (In Russ.)]
7. КТО. Всемирный банк и ВОЗ: половина населения мира не имеет доступа к основным медицинским услугам, 100 миллионов человек по-прежнему живут в крайней нищете из-за расходов на здравоохранение. <https://www.who.int/news-room/detail/13-12-2017-world-bank-and-who-half-the-world-backs-access-to-essential-health-services-100-million-still-pushed-into-extreme-poverty-because-of-health-expenses/> [WHO. World Bank and WHO: Half of the world's population lacks access to essential health services, 100 million people still live in extreme poverty due to health care costs. https://www.who.int/news-room/detail/13-12-2017-world-bank-and-who-half-the-world-backs-access-to-essential-health-services-100-million-still-pushed-into-extreme-poverty-because-of-health-expenses. (In Russ.)]
8. Nykiforuk C, Flaman I. Geographic information systems (GIS) for health promotion and public health: a review. *Health Promotion Practice*. 2003; 12(1): 63-73.
9. Ананченкова П.И. Геоинформационные системы и их использование в организации здравоохранения: обзор зарубежных исследований // Ремедиум. — 2023. — №2(27). — С.183-186. [Ananchenkova PI. Geoinformation systems and their use in healthcare: a review of foreign research. *Remedium*. 2023; 2(27): 183-186. (In Russ.)] doi:10.32687/1561-5936-2023-27-2-183-186.
10. Using the HealthMapper for disease surveillance and public health: a training course for public health. World Health Organization, 2008. 121 p.
11. Geographical information systems (GIS): mapping for epidemiological surveillance. WHO: Geneva, 2008. 285 p.
12. Данилов А.Н. Совершенствование эпидемиологического надзора за инфекционными болезнями в Саратовской области на основе ГИСТехнологии: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Саратов, 2005. [Danilov AN. Improvement of epidemiological surveillance of infectious diseases in the Saratov region on the basis of GIS-technology. [dissertation]. Saratov, 2005. (In Russ.)]
13. Croner C. Public Health Geographic information systems (GIS) news and information; 1994-1997. Center of Disease Control and Prevention. Available at: <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/13298>. Accessed 6 February 2020.
14. Морозова Л.Ф. Географические информационные системы в эпидемиологическом надзоре за паразитарными болезнями: автореф. дис. ... канд. наук. Москва, 2015. [Morozova, L.F. Geographical information systems in epidemiological surveillance of parasitic diseases. [dissertation]. Moscow, 2015. (In Russ.)]
15. Дубянский В.М. Концепция использования ГИС-технологий и дистанционного зондирования в эпиднадзоре за чумой // Врач и геоинформационные технологии. — 2012. — №2. — С.42-46. [Dubynsky VM. The concept of using GIS-technologies and remote sensing in plague surveillance. *Doctor and geoinformation technologies*. 2012; 2: 42-46. (In Russ.)]
16. Методическое пособие для укрепления информационных систем здравоохранения: руководство по оценке информационных систем здравоохранения и разработке соответствующих стратегий. Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ; 2021. Лицензия CC BY-NC-SA 3.0 IGO. [Methodological guide for strengthening health information systems: a guide for evaluating

- health information systems and developing appropriate strategies. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2021. CC license BY-NC-SA 3.0 IGO. (In Russ.)]
17. Михайлова Ю.А., Савватеева О.А. ГИС в здравоохранении. Студенческий научный форум 2022. XIV Международная студенческая научная конференция. [Mikhailova YuA, Savvateeva OA. GIS in healthcare. Student Scientific Forum 2022. XIV International Student Scientific Conference. (In Russ.)]
 18. ВОЗ трекер коронавируса. <https://covid19.who.int/> [WHO coronavirus tracker. <https://covid19.who.int/> (In Russ.)]
 19. Grzybowski S, et al. Planning the optimal level of local maternity service for small rural communities: a systems study in British Columbia. Health policy. 2009.
 20. Сомов Э.В., Тимонин С.А. Применение геоинформационных методов в решении задач оптимизации медицинского обслуживания г. Москвы // Врач и информационные технологии. — 2012. — №2. — С.30-41 [Somov EV, Timonin SA. Application of geoinformation methods in solving problems of optimization of medical care in Moscow. Doctor and information technology. 2012; 2: 30-41. (In Russ.)]
 21. Forbers H, Todd P. Review of Cancer Services, Northwest Regional Health Authority; Urban Research and Policy Evaluation Regional Research Laboratory. University of Liverpool: Liverpool, UK, 1995.
 22. Luo W, Wang F. Measures of Spatial Accessibility to Health Care in a GIS Environment: Synthesis and a Case Study in the Chicago Region. Environ. Plan. B Plan. 2003; 30: 865-884.
 23. Tao Z, Cheng Y. Modelling the spatial accessibility of the elderly to healthcare services in Beijing, China. Environ. Plan B: Urban Anal. City Sci. 2018; 46: 1132-1147.
 24. Сафонов П.О. Анализ состояния и рациональное управление медицинским обслуживанием населения сельского административного района с применением ГИС-технологий: автореф. дисс. Воронеж, 2007. [Safonov PO. Analysis of the state and rational management of medical care for the population of a rural administrative district using GIS technologies. [dissertation]. Voronezh, 2007. (In Russ.)]
 25. Струков Д.Р., Чигинева А.С. Пространственный метод анализа доступности медицинской помощи детям на примере Санкт-Петербурга // Геоматика. — 2014. — №3. — С.51-55. [Strukov DP, Chigineva AS. Spatial method of analyzing the availability of medical care for children on the example of St. Petersburg. Geomatics. 2014; 3:51-55. (In Russ.)]
 26. Парфенова К.В., Фалейчик Л.М. Оценка транспортной доступности межрайонных медицинских центров Забайкальского края // Социальные аспекты здоровья населения. — 2020. — №66(4). — С.8. [Parfenova KV, Faleychik LM. Assessment of transport accessibility of interdistrict medical centers of the Trans-Baikal Territory. Social aspects of public health. 2020; 66(4):8. (In Russ.)] doi: 10.21045/20715021-2020-66-4-8.
 27. Поликарпов А.В., Голубев Н.А., Левахина Ю.С., Махов В.А. Геоинформационная система как элемент территориального планирования в здравоохранении // Вестник Росздравнадзора. — 2022. — №6. — С.68-74. [Polikarpov AV, Golubev NA, Levakhina YuS, Makhov VA. Geoinformation system as an element of territorial planning in healthcare. Bulletin of Roszdravnadzor. 2022; 6: 68-74. (In Russ.)]
 28. O'Carroll P.W. Introduction to Public Health Informatics. Springer, New York, NY, 2003: 3-15.
 29. Данилова И.А. Заболеваемость и смертность от COVID-19. Проблема сопоставимости данных // Демографическое обозрение. — 2020. — №7(1). — С.6-26. [Danilova IA. Morbidity and mortality from COVID-19. The problem of data comparability. Demographic review. 2020; 7(1): 6-26. (In Russ.)]
 30. Кобякова О.С., Голубев Н.А., Поликарпов А.В., Сидоров К.В. Модель автоматизации системы сбора статистической информации о показателях системы здравоохранения на основании первичных данных // Профилактическая медицина. — 2023. — №26(1). — С.11-16. [Kobyakova OS, Golubev NA, Polikarpov AV, Sidorov KV. A model for automating a system for collecting statistical information on health care system indicators based on primary data. Preventive medicine. 2023; 26(1): 11-16. (In Russ.)]. doi: 10.17116/profmed20232601111.
 31. Хоанг В.Т., Зобова А.А., Епифанов В.Н. Современное состояние и проблемные вопросы использования ГИС-технологий для оценки эпидемиологической обстановки в социалистической Республике Вьетнам. Всероссийская межведомственная научно-практическая конференция «От теории саморегуляции к мировой самоизоляции: современные вызовы эпидемиологической науке и практике», посвященная 100-летию со дня рождения академика В.Д.Белякова. 10-11 ноября 2022 г. С.105-110. [Hoang VT, Zobova AA, Epifanov VN. The current state and problematic issues of using GIS technologies to assess the epidemiological situation in the socialist Republic of Vietnam. All-Russian interdepartmental scientific and practical conference «From the theory of self-regulation to global self-isolation: modern challenges to epidemiological science and practice», dedicated to the 100th anniversary of the birth of Academician V. D. Belyakova. November 10-11. 2022: 105-110. (In Russ.)]

БОБРОВСКАЯ Т.М.,

ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва, Россия, e-mail: bobrovskayaTM@zdrav.mos.ru

ВАСИЛЬЕВ Ю.А.,

к.м.н., ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», ФГБУ «НМХЦ им. Н. И. Пирогова» Минздрава России, e-mail: VasilevYA1@zdrav.mos.ru

НИКИТИН Н.Ю.,

к.ф.-м.н., ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва, Россия, e-mail: nikitinNY@zdrav.mos.ru

АРЗАМАСОВ К.М.,

к.м.н., ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», РТУ МИРЭА, г. Москва, Россия, e-mail: arzamasovKM@zdrav.mos.ru

ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ НАБОРОВ ДАННЫХ В ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ

DOI: 10.25881/18110193_2023_4_14

Аннотация. Использование машинного обучения, одной из технологий искусственного интеллекта, в здравоохранении продемонстрировало огромный потенциал для улучшения диагностики и лечения различных заболеваний. Однако успех программного обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта в значительной степени зависит от наличия высококачественных наборов медицинских данных, а также инфраструктуры, обеспечивающей процессы управления ими. Создание релевантных, репрезентативных и корректно размеченных наборов данных — сложная и дорогостоящая задача, требующая привлечения большого количества специалистов различного профиля и разработки алгоритма действий при подготовке наборов данных для лучевой диагностики.

В настоящей статье представлена методика подготовки наборов данных лучевой диагностики, которая позволяет установить принципы и протоколы для обеспечения стандартизированной подготовки наборов, создать удобную инфраструктуру организации и управления данными и является основой для разработки инструментов автоматизации процесса создания качественных наборов данных.

На основании практического опыта внедрения в лучевую диагностику представленной в статье методики дается указание на основные ошибки, возникающие при подготовке наборов данных лучевой диагностики, и предлагаются пути их решения.

Ключевые слова: наборы данных, искусственный интеллект, лучевая диагностика, датасеты.

Для цитирования: Бобровская Т.М., Васильев Ю.А., Никитин Н.Ю., Арзамасов К.М. Подходы к формированию наборов данных в лучевой диагностике. Врач и информационные технологии. 2023; 4: 14-23. doi: 10.25881/18110193_2023_4_14.

BOBROVSKAYA T.M.,

Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russia, e-mail: bobrovskayaTM@zdrav.mos.ru

VASILEV YU.A.,

PhD, Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russia; Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow, Russia, e-mail: VasilevYA1@zdrav.mos.ru

NIKITIN N.YU.,

PhD, Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russia, e-mail: nikitinNY@zdrav.mos.ru

ARZAMASOV K.M.,

PhD, Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russia; MIREA — Russian Technological University, Moscow, Russia, e-mail: arzamasovKM@zdrav.mos.ru

APPROACHES TO BUILDING RADIOLOGY DATASETS

DOI: 10.25881/18110193_2023_4_14

Abstract. *The application of machine learning in healthcare, as one of the more general artificial intelligence technology, has shown enormous potential for improving diagnostic and treatment outcomes for various conditions. However, success of AI-based software largely depends on the availability of high-quality medical datasets and the infrastructure built to streamline its management. Creating relevant, representative and accurately labeled datasets is a complex and expensive task that requires diverse expertise and a robust roadmap for dataset building in radiology.*

This paper presents a dataset creation methodology in radiology that establishes principles and protocols to ensure a standardized approach to dataset building, secures a convenient infrastructure for data management, and provides a framework to automate the creation of high-quality datasets.

With our experience in implementing the methodology presented in this paper for routine diagnostic imaging, we demonstrate typical errors that arise when preparing radiology datasets and offer ways to avoid them.

Keywords: *artificial intelligence, diagnostic imaging, radiology, datasets*

For citation: *Bobrovskaya T.M, Vasilev Yu.A., Nikitin N.Yu., Arzamasov K.M. Approaches to building radiology datasets. Medical doctor and information technology. 2023; 4: 14-23. doi: 10.25881/18110193_2023_4_14.*

ВВЕДЕНИЕ

Национальная стратегия развития искусственного интеллекта в РФ способствует развитию и широкому внедрению технологий искусственного интеллекта (ТИИ) и охватывает различные отрасли экономики и сферы общественных отношений, в том числе и здравоохранение [1]. В частности, внедрение программного обеспечения (ПО) на основе ТИИ способствует не только повышению качества и доступности медицины, но и увеличению количества наборов медицинских данных, что в свою очередь позволяет проводить научные исследования с целью дальнейшего развития ТИИ [2, 3].

Технологические решения, разработанные с использованием методов машинного обучения, являются примером искусственного интеллекта, способного решать узкоспециализированные задачи [1]. Для их разработки, обучения и тестирования необходимо создание релевантных, репрезентативных, корректно размеченных наборов данных (НД), а также информационно-коммуникационной инфраструктуры для их использования и публикации [1, 4]. Данные — представление информации в формализованном виде, пригодном для передачи, интерпретации и обработки [5]. НД — это совокупность данных, прошедших предварительную подготовку (обработку) в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации об информации, информационных технологиях и о защите информации и необходимых для разработки ПО на основе искусственного интеллекта [1]. Качество НД определяется обобщающей способностью, структурированностью и репрезентативностью его составляющих [6]. Несоответствующие этим принципам НД могут привести не только к созданию неэффективных моделей машинного обучения, но и к некорректной оценке диагностической точности этих моделей [7]. Создание качественного НД — это трудоемкий, дорогой и сложный процесс, требующий привлечения специалистов из различных сфер деятельности, в частности медицинских, технических и междисциплинарных.

В 2019 году стартовал Эксперимент по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения города Москвы

(далее Эксперимент) [8], в рамках которого потребовалось создание большого числа НД для тестирования ПО на основе ТИИ с целью внедрения их в лучевую диагностику. В результате реализации этого проекта была разработана методика формирования НД, которая создавалась и совершенствовалась на протяжении трех лет.

Ранее рассматривались принципы создания и организации использования НД. В частности, были разработаны система версионности для учета внесенных изменений [4], правила классификации НД по цели создания, по разметке, по методам верификации и принципы структуризации НД, основанные на их жизненном цикле [4, 9]. Жизненный цикл НД состоит из следующих этапов: инициация, планирование, формирование, публикация, смена версии и/или утилизация [9]. В настоящей работе представлен алгоритм непосредственно процесса формирования НД, а также рассмотрены основные трудности, возникающие в ходе его создания.

Цель работы: создать единую унифицированную методологию формирования НД для развития ПО на основе ТИИ в лучевой диагностике.

Рассматриваемые проблемы:

1. Отсутствие единой методики создания НД в лучевой диагностике.
2. Отсутствие инфраструктуры и принципов систематизации процессов создания и использования НД с целью контроля их качества и результативности практического применения.
3. Отсутствие инструментов автоматизации процессов формирования НД.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Данная работа является аналитическим исследованием, направленным на создание методики формирования НД для развития ПО на основе ТИИ в лучевой диагностике, а также определение дальнейших перспектив по ее совершенствованию и возможному расширению области применения. Используются аналитические методы исследования: анализ и синтез.

Для решения поставленных задач нами был проведен поиск и анализ литературы по созданию и применению НД по следующим ключевым словам: «наборы данных», «базы данных», «датасеты», «datasets». Далее были изучены НД,

Таблица 1 — Наборы данных в открытом доступе

https://paperswithcode.com/dataset/luna	Набор изображений компьютерной томографии для проверки алгоритмов автоматического обнаружения легочных узлов
https://medpix.nlm.nih.gov/home	Национальная медицинская библиотека MedPix
https://portal.imaging.datacommons.cancer.gov/collections/	Базы данных национального института рака США
https://stanfordmlgroup.github.io/competitions/mura/	База данных скелетно-мышечных рентгенологических исследований
http://www.oasis-brains.org/	Открытая библиотека серий изображений магнитно-резонансной томографии
http://imaging.cancer.gov/programsandresources/informationssystemslidc	База данных компьютерной томографии легких
http://academictorrents.com/details/557481faacd824c83fbf57dcf7b6da9383b3235a	Набор цифровых рентгенограмм грудной клетки
http://www.cancerimagingarchive.net/	База данных различных типов рака с различными методами визуализации
http://braintumorsegmentation.org/	База данных изображений магнитно-резонансной томографии для сегментации опухолей головного мозга
https://www.kaggle.com/	Имеет свою библиотеку наборов данных по различным направлениям

находящиеся в открытом доступе (Таблица 1), их сопроводительная информация и принципы организации хранения. На завершающем этапе был проанализирован собственный опыт создания НД за период 2019–2022 года.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результатом данной работы является алгоритм формирования НД. Однако, прежде чем приступить к процессу сбора данных, на первых этапах жизненного цикла [9] должны быть разработаны все необходимые документы, на основании которых будет создан НД:

1. Базовые функциональные требования (БФТ) — описание технических особенностей отображения результатов клинических исследований (серия изображений, толщина срезов, окно визуализации и т.д.) для ПО на основе ТИИ.
2. Базовые диагностические требования (БДТ) — требования к содержащейся в НД информации, необходимой для решения поставленных задач и достижения цели создания НД (модальность исследования, целевая патология, критерии отнесения исследований к классам и т.д.).
3. Техническое задание (ТЗ) — документ, регламентирующий все этапы процесса создания НД.

Также необходимо отметить, что благодаря цифровизации здравоохранения и появлению современной высокотехнологичной аппаратуры, большинство медицинских данных, полученных от пациентов, хранится в медицинских информационных системах медицинских организаций (МИС МО), предназначенных для сбора, хранения, обработки и представления информации, необходимой для автоматизации процессов оказания и учета медицинской помощи и информационной поддержки медицинских работников, включая информацию о пациентах, об оказываемой им медицинской помощи и о медицинской деятельности медицинских организаций [10]. Представленный в работе алгоритм рассчитан на получение данных из ЕРИС ЕМИАС (Единого радиологического информационного сервиса Единой медицинской информационно-аналитической системы г. Москвы). В случае получения данных из других источников, возможна его адаптация.

Кроме того, важнейшим аспектом при работе с данными является вопрос информационной безопасности и защиты персональных данных. В частности, персональные данные в медицинских НД должны быть удалены или анонимизированы [11]. Разметка НД осуществляется медицинским персоналом или алгоритмами после выгрузки и анонимизации.

Алгоритм формирования НД лучевой диагностики представлен на Рисунке 1 и состоит из следующих этапов:

1. Сбор данных:

- a. выгрузка текстовых протоколов исследований (из ЕРИС ЕМИАС);
- b. отбор текстовых протоколов по ключевым словам (с помощью алгоритмов обработки естественного языка);
- c. вычитка и фильтрация экспертами текстовых протоколов на соответствие исследуемой патологии с целью формирования выборки;
- d. выгрузка и анонимизация отобранных исследований.

Результатом данного этапа является:

- 1) таблица с идентификаторами исследований, а также указание на наличие или отсутствие целевого признака по текстовым протоколам;
- 2) анонимизированные файлы исследований в формате DICOM.

2. Разметка и аннотирование данных: минимальное количество разметчиков — 2 врача и 1 эксперт [12]. Разметка данных — этап обработки структурированных и неструктурированных данных, в процессе которого данным (в том числе текстовым документам, фото- и видеоизображениям) присваиваются идентификаторы, отражающие тип данных (классификация данных),

и (или) осуществляется интерпретация данных для решения конкретной задачи, в том числе с использованием методов машинного обучения. Результатом данного этапа является:

- 1) для каждого разметчика — отдельная таблица с идентификаторами исследований и указанием на наличие или отсутствие целевого признака на основании врачебного анализа исследования;
- 2) в случае, если проводилась сегментация изображения, для каждого разметчика — маска (оконтуренная целевая область изображения).

3. Структурирование данных:

- a. проверка таблицы разметки специалистом по работе с данными (на заполняемость, отсутствие дубликатов, достаточность и соответствие ТЗ);
- b. объединение результатов разметки;
- c. формирование итоговых таблиц разметки.

Результатом данного этапа является:

- 1) итоговая таблица с идентификаторами исследований и указанием на наличие или отсутствие целевого признака на основании экспертного консенсуса;
- 2) итоговая маска (при наличии).

4. Формирование файлов данных и разметки.

Результатом данного этапа является:

- 1) итоговые файлы с разметкой;
- 2) файлы данных в формате DICOM.



Рисунок 1 — Алгоритм создания набора данных.

5. Создание сопроводительного текстового файла (readme-файла) для дальнейшего использования или передачи на публикацию.

Важным аспектом при создании НД является процесс их дальнейшей публикации и использования. Для создания удобной инфраструктуры, а также контроля качества, нами был разработан реестр НД [9]. Он представляет из себя таблицу, содержащую стандартизованную и структурированную информацию о НД, для чего используются различные справочники и принципы классификации данных. Реестр основан на этапах жизненного цикла НД и заполняется в процессе его создания и использования. Он позволяет контролировать сроки выполнения работ и качество самого НД, может использоваться для создания сопроводительного текстового файла (readme), в том числе в автоматическом режиме, получения справочной информации в ходе оформления различной документации (например, результатов интеллектуальной деятельности, отчетов, публикаций), и в целом является инструментом управления всех процессов, связанных с НД. Кроме того, вышеописанные принципы позволяют формировать наглядные карточки НД для публикации в Библиотеки (например, [tosmed.ai/datasets](https://www.tosmed.ai/datasets)), что способствует обеспечению доступа к ним широкому кругу пользователей и, как следствие, развитию ТИИ [1].

Внедрение описанной методики подготовки НД производилось посредством разработанных в ГБУЗ НПКЦ ДиТ ДЗМ административных процедур и ПО.

Автоматизация процесса выгрузки и последующей анонимизации данных, а также системный подход к планированию и формированию требований к создаваемым НД, позволили за трехлетний период подготовить 352 НД, содержащих различные модальности и нозологии для оценки функционала, метрик диагностической точности и проверки ПО на основе ТИИ, со следующим распределением по модальностям:

- 165 по направлению компьютерная томография;
- 13 по направлению маммография;
- 20 по направлению магнитно-резонансная томография;
- 148 по направлениям рентгенография и флюорография;
- 1 комплексный по направлениям компьютерная томография, рентгенография, маммография;
- 5 по направлению низкодозная компьютерная томография.

В качестве результатов интеллектуальной деятельности зарегистрирован 51 НД, содержащий более 46000 исследований, что подтверждает их качество.

Разработанная и внедренная методика подготовки НД позволила обеспечить проведение Эксперимента на высоком научно-техническом уровне, однако в процессе разработки и внедрения методики формирования НД были выявлены наиболее типичные ошибки, совершаемые на всех этапах жизненного цикла НД (Таблица 2).

Таблица 2 — Типичные ошибки, возникающие в процессе создания набора данных. ТЗ — техническое задание, БДТ — базовые диагностические требования, БФТ — базовые функциональные требования

Проблема	Решение
Инициирование и планирование	
<ul style="list-style-type: none"> • нечетко поставленные задачи; • недостаточное понимание целей; • неверные формулировки требований к создаваемому НД 	<ul style="list-style-type: none"> • формирование междисциплинарной команды, ответственной за подготовку требований к создаваемым НД
Выгрузка исследований из МИС	
<ul style="list-style-type: none"> • длительная выгрузка исследований; • полученные в результате выгрузки файлы повреждены или содержат информацию, не соответствующую целям и задачам создания НД 	<ul style="list-style-type: none"> • планирование выгрузки НД с учетом загрузки каналов связи; • на подготовительном этапе в планируемом объеме НД вносится 20% запас на возможный брак в данных

Таблица 2 — Типичные ошибки, возникающие в процессе создания набора данных. ТЗ — техническое задание, БДТ — базовые диагностические требования, БФТ — базовые функциональные требования (продолжение)

Проблема	Решение
Фильтрация протоколов исследований по ключевым словам	
<ul style="list-style-type: none"> • неизбирательность фильтрации и, как следствие, нехватка исследований после ее проведения 	<ul style="list-style-type: none"> • привлечение профильного специалиста для подбора ключевых слов и увеличение объема выгрузки данных
Разметка экспертами	
<ul style="list-style-type: none"> • наличие внедренных в медицинское изображение персональных данных, которые невозможно удалить или подвергнуть анонимизации без потери целостности изображения; • наличие описания исследования без изображения; • наличие дефектов на изображении 	<ul style="list-style-type: none"> • контроль наличия на медицинских изображениях персональных данных и дефектов, в том числе методами автоматизированного анализа [10]
Проверка заполняемости таблиц исследований	
<ul style="list-style-type: none"> • пропущенные значения или целые столбцы с данными; • ошибки ввода, выбросы 	<ul style="list-style-type: none"> • автоматизация процессов проверки и возврат на этап фильтрации исследований
Составление итоговых таблиц с разметкой	
<ul style="list-style-type: none"> • нехватка исследований согласно требованиям ТЗ; • дублирование исследований 	<ul style="list-style-type: none"> • создание программного модуля, позволяющего проверять наличие дубликатов исследований
Заполнение реестра	
<ul style="list-style-type: none"> • отсутствие в ТЗ, БДТ или БФТ необходимой информации (например, кода МКБ целевой патологии); • в сформированных популяционных параметрах обнаруживались исследования, не соответствующие требованиям ТЗ 	<ul style="list-style-type: none"> • контроль критериев включения/ исключения на более ранних стадиях создания НД, дополнительная проверка содержания требований ТЗ, БДТ или БФТ, а само заполнение реестра НД требует автоматизации
Создание сопроводительного текстового файла (readme-файла)	
<ul style="list-style-type: none"> • отсутствие какой-либо информации, необходимой для readme; • ошибки при заполнении; • внесение корректировок после создания файла 	<ul style="list-style-type: none"> • внесение в реестр недостающих параметров и дальнейшая автоматизация создания readme, а также создание регламента, утверждающего все параметры до момента создания readme

ОБСУЖДЕНИЕ

Более активное внедрение ПО на основе ТИИ в медицинскую практику будет требовать большего объема данных, используемых для разработки, тестирования, сертификации и периодической поверки результатов работы ПО.

Основные аспекты создания медицинских НД также описаны в ГОСТ Р 59921.5-2022, однако они не регламентируют четких алгоритмов формирования НД и содержат более общие рекомендации.

Кроме того, в ряде публикаций описаны процессы создания НД [14–16]. Например, в работе [14] выделили следующие этапы формирования

НД МРТ с различными типами первичных опухолей: отбор, выгрузка, анонимизация, обработка, разметка, согласование, корректировка и сохранение исследований. Большое внимание уделено процессам анонимизации: так, в исследованиях, помимо удаления персональной информации из текстов протоколов и снимков, были удалены данные о рельефе лица. Непосредственно процесс отбора данных, вероятнее всего, проводился вручную (в работе нет упоминаний о каких-либо инструментах фильтрации данных) из клинической базы Федерального центра нейрохирургии. Такой способ сбора данных является довольно трудозатратным и требует привлечения

большого количества узкопрофильных специалистов, кроме того, он становится труднореализуемым при увеличении количества медицинских организаций, которые являются источниками данных (например, ЕРИС ЕМИАС содержит исследования из медицинских организаций города Москвы). В другой работе [15] отбор данных о пациентах с аневризмой сосудов головного мозга осуществлялся по коду диагноза МКБ, что позволило существенно ускорить и упростить работу, тем не менее при ручном анализе 32% случаев оказались ложноположительными. В обоих случаях работа проводилась на базе одного медицинского учреждения, что может привести к ситуации, когда НД окажется нерепрезентативным для более широкой популяции.

Наиболее подробно описано создание НД рентгенограмм грудной клетки [16]: в этой работе использовались специальные алгоритмы на этапах анонимизации и фильтрации данных, кроме того, была разработана веб-платформа для разметки исследований.

Однако целью большинства публикаций является создание конкретного НД и акценты расставлены на тонкостях составления ТЗ, диагностических требований и ПО для разметки, а единой, унифицированной методики, инструментов контроля качества и управления не описано. Кроме того, недостаточно внимания уделяется таким важным процессам, как хранение, использование и публикация готовых НД. В настоящей работе мы постарались описать конкретные действия, практические рекомендации по созданию НД, основные ошибки и, как следствие — пути автоматизации процесса и контроля качества. В результате проделанной административно-технической работы была сформирована и внедрена комплексная методика, позволяющая создавать НД, содержащие высококачественные медицинские исследования для лучевой диагностики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье представлена методика подготовки НД для лучевой диагностики, которая позволяет установить четкие принципы для обеспечения стандартизированной подготовки таких наборов, создать удобную инфраструктуру организации и управления данными и является основой для разработки инструментов автоматизации процесса создания качественных НД. Данная методика внедрена в практическую деятельность ГБУЗ НПКЦ ДиТ ДЗМ и в перспективе может быть адаптирована для других направлений медицинской диагностики.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источники финансирования. Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках НИОКР «Разработка платформы подготовки наборов данных лучевых диагностических исследований» (№ ЕГИСУ: 123031500003-8) в соответствии с Приказом от 21.12.2022 г. № 1196 «Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счет средств бюджета города Москвы государственным бюджетным (автономным) учреждениям подведомственным Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 годов» Департамента здравоохранения города Москвы.

Благодарности. Авторский коллектив выражает благодарность заместителю директора по научной работе ГБУЗ «НПКЦ диагностики и телемедицины ДЗМ» Владимирскому А.В. и руководителю по управлению подразделениями Дирекции наука ГБУЗ «НПКЦ диагностики и телемедицины ДЗМ» Омелянской О.В. за организационное и методическое сопровождение научной работы.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 №490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/563441794>. Ссылка действительна на 28.08.2023. [Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 10.10.2019 №490 «O razvitii iskusstvennogo intellekta v Rossijskoj Federacii» // Elektronnyj fond pravovyh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/563441794>. Accessed 28.08.2023. (In Russ.)]
2. Гусев А.В., Владимирский А.В., Шарова Д.Е., и др. Развитие исследований и разработок в сфере технологий искусственного интеллекта для здравоохранения в Российской Федерации: итоги 2021 года // Digital Diagnostics. — 2022. — Т.3. — №3. — С.178-194. [Gusev AV, Vladzimirskyu

- AV, Sharova DE, et al. Evolution of research and development in the field of artificial intelligence technologies for healthcare in the Russian Federation: results of 2021 // *Digital Diagnostics*. 2022; 3(3): 178-194. (In Russ.)] doi: 10.17816/DD107367.
3. Арзамасов К.М., Васильев Ю.А., Владзимирский А.В. и др. Применение компьютерного зрения для профилактических исследований на примере маммографии // *Профилактическая медицина*. — 2023. — Т.26. — №6. — С.117-123. [Arzamasov KM, Vasilev YuA, Vladzymyrskyy AV, et al. The use of computer vision for the mammography preventive research. *Profilakticheskaja-medicina*. 2023; 26(6): 117-123. (In Russ.)] doi: 10.17116/profmed202326061117.
 4. Павлов Н.А., Андрейченко А.Е., Владзимирский А.В. и др. Эталонные медицинские датасеты (MosMedData) для независимой внешней оценки алгоритмов на основе искусственного интеллекта в диагностике // *Digital Diagnostics*. — 2021. — Т.2. — №1. — С.49-66. [Pavlov NA, et al. Reference medical datasets (MosMedData) for independent external evaluation of algorithms based on artificial intelligence in diagnostics. *Digital Diagnostics*. 2021; 2(1): 49-66. (In Russ.)] doi: 10.17816/DD60635.
 5. ГОСТ Р 52653-2006. Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Термины и определения // *Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов*. Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/1200053103>. Ссылка действительна на 28.08.2023. [GOST R 52653-2006. Informacionno-kommunikacionnye tekhnologii v obrazovanii. Terminy i opredeleniya // *Elektronnyj fond pravovyh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov*. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200053103>. Accessed 28.08.2023. (In Russ.)]
 6. Willeminck MJ, Koszek WA, Hardell C, et al. Preparing Medical Imaging Data for Machine Learning. *Radiology*. 2020; 295(1): 4-15. doi:10.1148/radiol.2020192224.
 7. Aggarwal R, Sounderajah V, Martin G, et al. Diagnostic accuracy of deep learning in medical imaging: a systematic review and meta-analysis. *NPJ Digit Med*. 2021; 4(1): 65. doi:10.1038/s41746-021-00438-z.
 8. Владзимирский А.В., Васильев Ю.А., Арзамасов К.М. и др. Компьютерное зрение в лучевой диагностике: первый этап Московского эксперимента. — Москва: Издательские решения, 2022. — 388 с. [Vladzimirskiy AV, Vasil'ev YUA, et al. Computer vision in radiation diagnostics: the first stage of the Moscow experiment. M.: Izdatel'skie resheniya, 2022; 388 p. (In Russ.)]
 9. Васильев Ю.А., Бобровская Т.М., Арзамасов К.М. и др. основополагающие принципы стандартизации и систематизации информации о наборах данных для машинного обучения в медицинской диагностике // *Менеджер здравоохранения*. — 2023. — №4. — С.28-41. [Vasiliev YuA, et al. Fundamental principles for standardizing and systematizing information about data sets for machine learning in medical diagnostics. *Healthcare Manager*. 2023; 4: 28-41. (In Russ.)] doi: 10.21045/1811-0185-2023-4-28-41.
 10. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 24.12.2018 №911н «Об утверждении Требований к государственным информационным системам в сфере здравоохранения субъектов Российской Федерации, медицинским информационным системам медицинских организаций и информационным системам фармацевтических организаций». Доступно по: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=338271>. Ссылка действительна на 28.08.2023. [Prikaz Ministerstva zdravooohraneniya Rossijskoj Federacii ot 24.12.2018 №911n «Ob utverzhdenii Trebovanij k gosudarstvennym informacionnym sistemam v sfere zdravooohraneniya sub»ektov Rossijskoj Federacii, medicinskim informacionnym sistemam medicinskih organizacij i informacionnym sistemam farmacevticheskikh organizacij». Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=338271>. Accessed 28.08.2023. (In Russ.)]
 11. Федеральный закон «О персональных данных» от 27.07.2006 №152-ФЗ. Доступно по: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=447363>. Ссылка действительна на 28.08.2023. [Federal'nyj zakon «O personal'nyh dannyh» ot 27.07.2006 №152-FZ. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=447363>. Accessed 28.08.2023. (In Russ.)]

12. Кульберг Н.С., Гусев М.А., Решетников Р.В. и др. Методология и инструментарий создания обучающих выборок для систем искусственного интеллекта по распознаванию рака легкого на кт-изображениях // *Здравоохранение Российской Федерации*. — 2020. — Т.64. — №6. — С.343-350. [Kulberg NS, et al. Methodology and tools for creating training samples for artificial intelligence systems for recognizing lung cancer on CT images. *Healthcare of the Russian Federation*. 2020; 6: 343-350. (In Russ.)] doi: 10.46563/0044-197X-2020-64-6-343-350.
13. Борисов А.А., Семенов С.С., Арзамасов К.М. Использование трансферного обучения для автоматизированного поиска дефектов на рентгенограммах органов грудной клетки // *Медицинская визуализация*. — 2023. — Т.27. — №1. — С.158-169. [Borisov AA, et al. Using transfer learning for automated detection of defects in chest X-rays. *Medical imaging*. 2023; 27(1): 158-168. (In Russ.)] doi: 10.24835/1607-0763-1243.
14. Амелина Е.В., Летягин А.Ю., Тучинов Б.Н. и др. Особенности создания базы данных нейроонкологических 3D МРТ-изображений для обучения искусственного интеллекта // *Сибирский научный медицинский журнал*. — 2022. — Т.42. — №6. — С.51-59. [Amelina EV, et al. Features of creating a database of neuro-oncological 3D MRI images for training artificial intelligence. *Siberian Scientific Medical Journal*. 2022; 42(6): 51-59. (In Russ.)] doi: 10.18699/SSMJ20220606.
15. Кивелев Ю.В., Сааренпя И., Кривошапкин А.Л. Формирование набора больших данных для клинических исследований на примере аневризм сосудов головного мозга // *Сибирский научный медицинский журнал*. — 2023. — Т.43. — №3. — С.86-94. [Kivelev YuV, et al. Formation of a big data set for clinical research using the example of cerebral aneurysms. 2023; 43(3): 86-94. (In Russ.)] doi: 10.18699/SSMJ20230311.
16. Nguyen HQ, Lam K, Le LT, et al. VinDr-CXR: An open dataset of chest X-rays with radiologist's annotations. *Sci Data*. 2022; 9(1): 429. doi: 10.1038/s41597-022-01498-w.

АСТАНИН П.А.,

ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия, e-mail: med_cyber@mail.ru

РОНЖИН Л.В.,

ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия, e-mail: levronzhin@gmail.com

ФЕДОРОВ А.А.,

ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия, e-mail: fdrv_rnrmu@mail.ru

РАУЗИНА С.Е.,

к.м.н., доцент, ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия, e-mail: rauzina@mail.ru

ЗАРУБИНА Т.В.,

член-корр. РАН, д.м.н., профессор, ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия, e-mail: zarubina@rsmu.ru

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗВЛЕЧЕНИЯ АББРЕВИАТУР ТЕРМИНОВ УНИФИЦИРОВАННОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ ИЗ ТЕКСТОВ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

DOI: 10.25881/18110193_2023_4_24

Аннотация. Унифицированная национальная медицинская номенклатура (УНМН) разрабатывается с 2022 г. с использованием международного метатезауруса Unified Medical Language System (UMLS) и других источников. УНМН является терминологической системой, организованной по онтологическому принципу и потенциально применимой для аннотирования медицинских текстов на русском языке. В настоящее время словари и справочники УНМН наполняются различными вариантами возможных формулировок медицинских терминов автоматизированным и экспертным способами. В медицине часто используются аббревиатуры, которые позволяют в сокращенной форме выразить смысл используемых понятий. Однако их распознавание в неструктурированном тексте является нетривиальной задачей. Разработка программного инструмента для автоматического извлечения аббревиатур из текста научных статей позволит обогатить УНМН и ускорить создание систем поддержки принятия клинических решений на её основе.

Цель исследования. Создание алгоритма автоматического извлечения аббревиатур терминов УНМН из текста научных статей на русском языке.

Материалы и методы. Для валидации и тестирования алгоритма использовались неструктурированные тексты аннотаций к научным статьям на русском языке, полученные из информационно-поисковой системы eLIBRARY. Полнотекстовые расшифровки извлеченных аббревиатур корректировались с применением билингвального перевода (на русский язык и обратно).

Результаты. Разработанный на основе семантических правил алгоритм позволил обеспечить извлечение аббревиатур и их полнотекстовых расшифровок с ~93% чувствительностью и ~99% специфичностью. Для большинства (~87%) терминов с использованием билингвального перевода удавалось скорректировать орфографические ошибки и выполнить приведение к начальной форме. Половина (~49%) аббревиатур со 100% точностью сопоставлялась с терминами УНМН. Обработка текстов аннотаций к научным статьям (168 тыс.) с использованием разработанного алгоритма позволила сформировать основу для создания Единого справочника медицинских аббревиатур, сопоставленных с терминами УНМН (свыше 6,6 тыс. уникальных записей).

Ключевые слова: УНМН, UMLS, обработка естественного языка, регулярные выражения, Regex, Googletrans, API, семантический анализ текста.

Для цитирования: Астанин П.А., Ронжин Л.В., Федоров А.А., Раузина С.Е., Зарубина Т.В. Автоматизированная система извлечения аббревиатур терминов унифицированной национальной медицинской номенклатуры из текстов научных статей. *Врач и информационные технологии.* 2023; 4: 24-35. doi: 10.25881/18110193_2023_4_24.

ASTANIN P.A.,

Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia, e-mail: med_cyber@mail.ru

RONZHIN L.V.,

Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia, e-mail: levronzhin@gmail.com

FEDOROV A.A.,

Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia, e-mail: fdrv_rnrmu@mail.ru

RAUZINA S.E.,

PhD, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia, e-mail: rauzina@mail.ru

ZARUBINA T.V.,

Corresponding Member of the RAS, DSc, Prof., Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia, e-mail: zarubina@rsmu.ru

AUTOMATED ABBREVIATIONS RECOGNITION SYSTEM FOR UNIFIED NATIONAL MEDICAL NOMENCLATURE FILLING WITH USING RUSSIAN LANGUAGE UNSTRUCTURED TEXT OF ARTICLES

DOI: 10.25881/18110193_2023_4_24

Abstract. *The Unified national medical nomenclature (UNMN) has been under development since 2022 with using the Unified Medical Language System (UMLS) Metathesaurus and other sources. UNMN is a terminological system based on ontological approach and potentially applicable in Russian language medical text annotating. Currently, terms from different clinical branches are being added to UNMN utilizing both automatized and expert ways. Often in medicine abbreviations allow expressing the meaning of the concepts in a rapid way. However, their recognition in unstructured text is not trivial issue. The development of software for automated abbreviations recognition from research articles could enrich UNMN and accelerate clinical decision support systems development.*

The aim of this study was to create the automated algorithm for UNMN terms abbreviations recognition from text of Russian language research articles.

Methods. Validation and testing dataset included unstructured abstracts of Russian language research articles aggregated from eLIBRARY. Fulltext wordings of extracted abbreviations have been corrected with bilingual (RussianEnglish and EnglishRussian) translation.

Results. Final version of the algorithm based on semantic rules demonstrated ~93% sensitivity and ~99% specificity in abbreviations and their fulltext wordings extraction. Large percentage (~87%) of terms has been successfully corrected and presented in the initial form after bilingual translation. Half (~49%) of abbreviations has been mapped with 100% accuracy to UNMN terms. Processing of 168 000 abstracts using the developed algorithm lead to creation of the Unified medical abbreviations thesaurus with UNMN terms (exceeding 6600 unique entries).

Keywords: UNMN, UMLS, NLP, regular expressions, Regex, Googletrans, API, text semantic analysis

For citation: Astanin P.A., Ronzhin L.V., Fedorov A.A., Rauzina S.E., Zarubina T.V. Automated abbreviations recognition system for unified national medical nomenclature filling with using russian language unstructured text of articles. Medical doctor and information technology. 2023; 4: 24-35. doi: 10.25881/18110193_2023_4_24.

ВВЕДЕНИЕ

Онтологический подход является одной из моделей представления знаний для построения систем поддержки принятия клинических решений (СППКР) [1–3]. Данный подход предусматривает формализацию знаний об исследуемой предметной области в виде семантических сетей — терминологических сводов, представленных в сетевой (графовой) форме [4–6]. Достоинством онтологического подхода является возможность частичной автоматизации процесса разработки СППКР при существовании терминологических систем, обеспечивающих смысловое покрытие значительной части существующих клинических областей [2, 7]. Одной из крупнейших русскоязычных терминологических систем является Унифицированная национальная медицинская номенклатура (УНМН), разрабатываемая с 2022 г. с использованием международного метазавеса Unified Medical Language System (UMLS) [8, 9]. В настоящее время УНМН активно наполняется русскоязычными терминами из различных областей медицины и является основой для создания инструментов обработки естественного языка (NLP — natural language processing) или текста — основного способа представления данных в медицинских информационных системах [10, 11].

Важной частью любой терминологической системы являются аббревиатуры (сокращения и акронимы), активно применяемые в реальной медицинской практике для описания клинической картины пациента [12]. Однако современные алгоритмы семантического анализа обладают низкой чувствительностью к аббревиатурам и не позволяют использовать их в процессе обработки неструктурированного текста. По этой причине для обеспечения качественного распознавания аббревиатур в медицинских текстах требуется использование специальных справочников. На момент проведения настоящего исследования не было найдено открытой информации о существовании единого справочника медицинских аббревиатур (ЕСМА) на русском языке.

Главным источником аббревиатур и их полнотекстовых расшифровок служат теоретические разделы научных статей: аннотация, введение и обсуждение. Данные разделы содержат наибольшее количество вводной информации

с первым упоминанием большинства ключевых терминов и их аббревиатур [13]. Разработка программного инструмента для автоматического извлечения аббревиатур позволит повысить чувствительность алгоритмов извлечения именованных сущностей при обработке данных реальной клинической практики.

Целью настоящего исследования является разработка, валидация и тестирование алгоритма автоматического извлечения аббревиатур терминов УНМН из текста научных статей на русском языке.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проведено сотрудниками Института цифровой трансформации медицины (ИЦТМ) ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Минздрава России в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030». На всех этапах исследования использовались неструктурированные тексты аннотаций к научным статьям на русском языке, полученные из информационно-поисковой системы eLIBRARY. Для агрегации текстов случайным способом было извлечено 728 ссылок на статьи из журналов, отнесённых к рубрике 76.00.00 «Медицина и здравоохранение» в соответствии с Государственным рубрикатором научнотехнической информации (ГРНТИ) [14]. Самая ранняя публикация в полученной выборке была размещена в eLIBRARY в 1999 г. Основная часть ($n = 666$, 91,5%) извлечённых текстов датировалась 2014–2023 гг. и являлась актуальной на момент исследования. Статьи принадлежали к различным областям медицины и находились в открытом доступе для зарегистрированного в eLIBRARY пользователя.

Предобработка текстов состояла в выполнении стандартных технических операций [15–17]. Производилось удаление технических символов, абзацных отступов и переводов строк, кавычек, квадратных скобок и косых черт. Затем все многоточия в тексте заменялись на точки, а двойные пробелы — на одинарные.

Для извлечения аббревиатур созданы семантические правила, представленные в виде регулярных выражений. Написание регулярных выражений осуществлялось с использованием синтаксиса библиотеки Regex языка

программирования Python [18]. Составленные семантические правила были предназначены для решения двух ключевых задач: поиска паттернов, указывающих на наличие аббревиатуры в тексте, и проверки наличия полнотекстовой расшифровки найденной аббревиатуры в её окрестностях. Основным критерием успешного извлечения аббревиатуры было её непосредственное извлечение с нахождением правильной полнотекстовой расшифровки на русском или английском языках [19]. Примеры находимых аббревиатур и их расшифровок представлены с сохранением регистра, орфографии и согласования слов в таблице 1.

Из данных таблицы 1 следует, что значительная доля извлекаемых полнотекстовых расшифровок аббревиатур не находилась в единственном или множественном числе именительного падежа (начальной форме), требовала коррекции орфографических ошибок, а также числа и падежа с использованием морфологического разбора. Важно отметить, что подобная коррекция слов и фраз является одной из наиболее сложных задач NLP. В данном исследовании предпринимались попытки приведения полнотекстовых расшифровок аббревиатур к

начальной форме с использованием лемматизатора Natural Language Toolkit (NLTK) и морфологического анализатора Py morphology2 [20]. Однако при использовании данных инструментов удавалось обеспечить приведение слов лишь к нормальной форме (отличающейся от начальной). Для существительных нормальной форме соответствует единственное число именительного падежа, для прилагательных — единственное число именительного падежа в мужском роде, для глаголов, причастий, деепричастий — глагол в неопределённой форме несовершенного вида. Примеры полнотекстовых расшифровок аббревиатур в исходной, нормальной и начальной формах представлены на рисунке 1.

Данные, представленные на рисунке 1, демонстрируют невозможность использования нормальных форм отдельных слов по причине искажения правильности написания полнотекстовых расшифровок терминов: в большинстве случаев адекватное согласование родов прилагательного и существительного в терминах отсутствовало.

В связи с этим была предпринята попытка приведения расшифровок к начальной форме при билингвальном переводе с использованием

Таблица 1 — Примеры пар аббревиатур и дословно найденных для них полнотекстовых расшифровок из текстов аннотаций к научным статьям

№	Аббревиатура	Дословная полнотекстовая расшифровка из текста
1	ДН	«дыхательная недостаточность»
2	ИМТ	«индекс массы тела»
3	НД	«нормативной документации»
4	АГ	«артериальная гипертензия»
5	ПК	«прекалликреина»
6	гAAV	«Рекомбинантный аденоассоциированный вирус»
7	ЦЖ	«щетовидная железа»
8	ПСМТ	«позвоночно-спинномозговой травмой»
9	ИИ	«ишемического инсульта»
10	ГАМК	«гамма-аминомасляной кислоты»
11	БНЧС	«Боль в нижней части спины»
12	аксСпА	«Аксиального спондилоартрита»

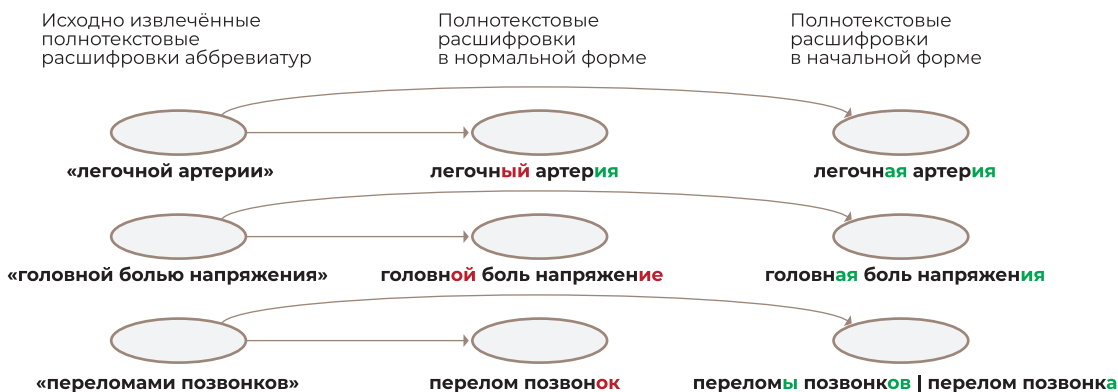


Рисунок 1 — Примеры полнотекстовых расшифровок аббревиатур в исходной, нормальной и начальной формах.

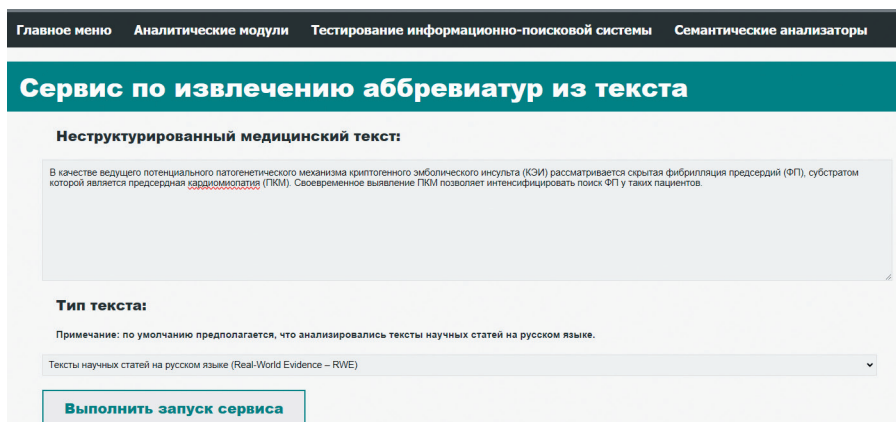


Рисунок 2 — Фрагмент пользовательского решения для работы с сервисом по извлечению аббревиатур из текста.

программного интерфейса приложения (API) Googletrans. Googletrans позволяет неограниченно осуществлять перевод текстов на разных языках и является единственным открытым ресурсом, свободно интегрируемым в приложения разработчиков. Благодаря открытому доступу Googletrans API позволил реализовать автоматический билингвальный перевод полнотекстовых формулировок на английский язык и обратно.

Полнотекстовые формулировки аббревиатур на английском языке сопоставлялись с терминами УНМН, разрабатываемой на базе ИЦТМ с 2022 г. При нахождении полного совпадения термина при регистронезависимом дословном поиске найденной аббревиатуре сопоставлялся номер концепта УНМН.

Разработанный алгоритм реализован в виде сервиса в составе аналитической системы ИЦТМ (рис. 2), выступающей в качестве платформы для создания баз знаний и СППКР на основе УНМН. Сервис предусматривает возможность внесения свободного неструктурированного текста с последующим его отнесением к данным реальной клинической практики или научнопрактическим материалам.

Предполагается экспертная проверка извлечённых аббревиатур и их полнотекстовых расшифровок с возможностью реализации трёх сценариев. Первый (основной) сценарий предполагает немедленное добавление аббревиатуры в состав концепта УНМН. Второй сценарий предусматривает возможность экспертной проверки и коррекции характеристик аббревиатуры

(номера сопоставленного концепта, непосредственно формулировки и её регистра) на уровне врача-эксперта с последующим добавлением в УНМН. В случае некорректной отработки алгоритма реализуется третий сценарий, согласно которому аббревиатура считается некорректной и ни при каких условиях не может быть добавлена в УНМН.

Для количественной оценки качества работы алгоритма определялись следующие статистические параметры: абсолютные (n) и относительные (%) доли найденных в текстах аббревиатур, аббревиатур с исходно правильной падежной формой, аббревиатур с верной падежной формой после коррекции с использованием билингвального перевода и аббревиатур с корректно подобранными для них концептами УНМН.

Валидированный алгоритм был использован для обработки корпуса из 168 тыс. текстов аннотаций к русскоязычным статьям. Независимо от результата сопоставления с концептами УНМН, найденные аббревиатуры и их полнотекстовые расшифровки сохранялись в базу данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При экспертной разметке исследуемого набора из 728 текстов аннотаций к научным статьям было выделено 305 аббревиатур. Некоторые аббревиатуры могли встречаться сразу в нескольких аннотациях. При автоматической обработке текста получено 285 аббревиатур, из них 266 были уникальными. Всего в одном случае вместо аббревиатуры было найдено обычное слово, в дальнейшем исключённое из

Таблица 2 — Распределение аббревиатур по типам концептов УНМН

Семантический класс УНМН	Тематическая группа (tui) терминов УНМН, сопоставленных с аббревиатурами	Доля концептов – n (%)
Клинические расстройства	Всего, из них:	81 (34,8%)
	T047 – Заболевания или синдромы	56 (69,1%)
	T033 – Клинические находки	12 (14,8%)
	T037 – Травмы и отравления	7 (8,64%)
	Другие	6 (7,41%)
Процедуры	Всего, из них:	51 (21,9%)
	T059 – Лабораторные процедуры	16 (31,3%)
	T060 – Диагностические процедуры	12 (23,5%)
	T061 – Лечебно-профилактические мероприятия	16 (31,3%)
	Другие	7 (13,7%)
Химические вещества и лекарства	Всего, из них:	34 (14,6%)
	T121 – Лекарственные вещества	14 (41,2%)
	T116 – Аминокислоты, пептиды и белки	6 (17,6%)
	T197 – Органические химические вещества	4 (11,8%)
	Другие	10 (29,4%)
Анатомия	Всего, из них:	18 (7,73%)
	T023 – Части тела, органы или части органов	10 (55,6%)
	T022 – Анатомические и функциональные системы	3 (16,7%)
	T024 – Ткани	3 (16,7%)
	Другие	2 (11,1%)
Физиологические процессы, всего:		15 (6,44%)
Абстрактные понятия и категории, всего:		13 (5,58%)
Живые организмы, всего:		8 (3,43%)
Организации, всего:		6 (2,58%)
Гены, белки и аминокислоты, всего:		3 (1,29%)
Явления, процессы и их результаты, всего:		3 (1,29%)
Деятельность и поведение, всего:		1 (<1%)
Сумма по всем семантическим классам и группам УНМН:		225 (100%)

Примечание: УНМН — унифицированная национальная медицинская номенклатура.

Таблица 3 — Результаты количественной оценки качества работы алгоритма извлечения аббревиатур терминов УНМН

Краткое описание количественного критерия оценки качества	Значение – n (%)
Общая правильность распознавания аббревиатур	261 (100)
Правильность падежных форм исходно извлечённых полнотекстовых формулировок	28 (10,7)
Правильность падежных форм полнотекстовых формулировок, скорректированных при билингвальном переводе	257 (98,1)
Соответствие исправленной формулировки дословно извлечённой	229 (87,4)
Корректность подбора концептов УНМН для извлечённых аббревиатур	261 (100)

Примечание: УНМН – Унифицированная национальная медицинская номенклатура.

исследования. Мера оценки, эквивалентная специфичности, оказалась равной 99,6% (284 аббревиатуры из 285 действительно оказались аббревиатурами). Мера, эквивалентная чувствительности, была равна 93,1% (284 аббревиатуры найдено среди 305).

При использовании англоязычных полнотекстовых расшифровок аббревиатур с применением регистронезависимого поиска удалось сопоставить 130 (49,1%) из 265 найденных аббревиатур с 225 уникальными концептами УНМН из разных классов и групп (таблица 2).

Из таблицы 2 следует, что большинство сопоставленных аббревиатур относилось к тематическим группам из четырёх основных семантических классов УНМН: «Клинические расстройства» (~35%), «Процедуры» (~22%), «Химические вещества и лекарства» (~15%), «Анатомия» (~8%). Не сопоставлялись с УНМН аббревиатуры названий научнообразовательных учреждений, малоизвестных диагностических и терапевтических методов, узкоспециализированные понятия, а также экономические и географические термины, не относящиеся к медицине.

Сопоставленные с концептами УНМН аббревиатуры встретились в использованном наборе текстов аннотаций 261 раз. Каждый случай анализировался отдельно на предмет корректности извлечения аббревиатуры и качества обработки её полнотекстовой расшифровки. Сформировано пять признаков, для которых по каждому срабатыванию алгоритма экспертным способом определялись значения бинарных меток.

Первый признак определял общую правильность распознавания аббревиатуры. Наличие положительной метки этого признака означало, что аббревиатура и её расшифровка были

агрегированы из текста полностью без лишних слов и символов. Вторым признаком характеризовал соответствие исходно извлечённой полнотекстовой расшифровки аббревиатуры начальной форме. Третий признак указывал на соответствие полнотекстовой формулировки начальной форме после билингвального перевода. Четвёртым признаком характеризовал отсутствие искажения исходной расшифровки аббревиатуры после исправления (формулировка «фибрилляции предсердий» исправлялась на «фибрилляция предсердий», а не на «мерцательная аритмия»). Пятый признак определял корректность подбора концептов УНМН для извлечённых аббревиатур. Результат оценки вышеперечисленных признаков представлен в таблице 3.

Из таблицы 3 следует, что все извлечённые аббревиатуры были распознаны верно. Однако лишь малая часть (~10%) их полнотекстовых расшифровок исходно имела начальную форму. После попытки коррекции с использованием билингвального перевода к начальной форме приводилось до 98% формулировок. Тем не менее лишь 87% из них не теряли исходного варианта написания: все остальные могли заменяться на синонимичные понятия (например, «фибрилляция предсердий» исправлялась на термин «мерцательная аритмия»), что искажало полнотекстовую формулировку извлечённой аббревиатуры. Для всех извлечённых аббревиатур независимо от качества их исправления концепты УНМН подбирались верно.

При автоматической обработке корпуса текстов из 168 тыс. аннотаций к научным статьям на русском языке извлечено 16307 аббревиатур, из них 6617 было сопоставлено с концептами

УНМН. Полученные данные будут подвергнуты экспертной оценке и включению в ЕСМА.

ОБСУЖДЕНИЕ

Большинство работ, посвящённых описанию алгоритмов автоматического анализа неструктурированной медицинской информации, связано с разработкой СППКР [21–24]. Значительная часть подобных СППКР базируется на использовании современных нейросетевых архитектур (BioBERT, Transformer, LSTM) и анализа больших данных [24, 25]. В некоторых ситуациях (например, при работе с редкими заболеваниями или при отсутствии источников больших данных) модели машинного обучения не позволяют достичь клинически значимого результата. В подобных случаях наибольшую эффективность демонстрируют алгоритмы интерпретации данных, построенные на использовании правил [26].

Наиболее часто в реальную практику внедряются гибридные СППКР, обеспечивающие достижение максимальной точности и предусматривающие одновременное использование результатов машинного обучения, экспертных правил и знаний [2]. Одним из способов реализации гибридных СППКР является онтологический подход, предполагающий предварительное формирование свода терминов для описания изучаемой области медицины [1, 2, 6].

В подавляющем большинстве исследований, связанных с разработкой СППКР на базе онтологического подхода, создаваемые словари понятий не имеют интеграции с крупными терминологическими сводами. В рамках системного решения данной проблемы ведётся создание УНМН — одной из крупнейших онтологических моделей на русском языке. Важным этапом разработки УНМН является поиск разнообразных формулировок клинических терминов (синонимов, сокращений и аббревиатур) с использованием автоматической обработки естественного языка (NLP — natural language processing) [23, 27–29]. Программные решения, применяемые в данной области, могут быть основаны на использовании как машинного обучения, так и семантических правил [12, 30–36].

В настоящем исследовании предпринята попытка создания автоматизированного

алгоритма извлечения аббревиатур терминов УНМН из текста научных статей. Данный алгоритм был построен на основе правил, представленных в виде регулярных выражений и позволивших добиться извлечения аббревиатур и их полнотекстовых расшифровок с ~93% чувствительностью и ~99% специфичностью. С использованием билингвального переводчика (на английский язык и обратно) удалось скорректировать орфографические ошибки в полнотекстовых расшифровках и привести их к начальной форме для ~87% аббревиатур. Половина (~49%) аббревиатур, среди которых подавляющая часть относилась к различным областям клинической медицины, автоматически сопоставлялась с одним или несколькими концептами УНМН. Оставшаяся часть аббревиатур требует отдельного анализа и сопоставления с концептами УНМН экспертным способом.

Обработка текстов аннотаций к научным статьям (168 тыс.) на русском языке позволила сформировать основу для создания Единого ЕСМА. В настоящее время ЕСМА включает свыше 6,6 тыс. уникальных записей, сопоставленных с УНМН. В дальнейшем планируется расширение ЕСМА по мере накопления и автоматической обработки неструктурированных данных из различных областей медицины.

К перспективам настоящего исследования следует отнести извлечение медицинских аббревиатур и их расшифровок при полнотекстовом анализе научных статей с предварительной доработкой инструмента приведения фраз и слов к начальной форме. Также актуальными задачами являются разработка алгоритма автоматического извлечения синонимов клинических терминов из неструктурированного текста и создание способов решения проблемы лексической неоднозначности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повышение качества автоматической обработки неструктурированного текста возможно при использовании справочников специализированных аббревиатур. Для разработки подобных ресурсов могут применяться тексты научных статей.

В рамках настоящего исследования был разработан и валидирован алгоритм извлечения

аббревиатур из текста аннотаций к научным статьям. Автоматическая обработка 167 тыс. текстов позволила сформировать основу для создания крупнейшего справочника аббревиатур терминов УНМН на русском языке.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках федеральной программы «Приоритет 2030».

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Осмоловский И.С., Зарубина Т.В. Разработка и апробация прототипа экспертной системы для диагностики подагры // Социальные аспекты здоровья населения. — 2023. — Т.69. — №4. — С.1-24. [Osmolovsky IS, Zarubina TV. Developing and testing a prototype expert system for gout diagnosis. Social Aspects of Population Health. 2023; 69(4): 1-24. (In Russ.)] doi: 10.21045/2071-5021-2023-69-4-15.
2. Зарубина Т.В., Кобринский Б.А., Белоносов С.С. и др. Медицинская информатика: учебник. 2-е издание, переработанное и дополненное // Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2022. — 464 с. [Zarubina TV, Kobrinskii BA, Lipkin YuG. Medical Informatics: Textbook. M.: GEOTAR-Media, 2022. 464 p. (In Russ.)] doi: 10.33029/9704-6273-7-TMI-2022-1-464.
3. Киселев К.В., Потехина А.В., Осяева М.К. и др. Разработка номенклатуры понятий для системы поддержки принятия врачебных решений в области диагностики стенокардии I-IV функциональных классов // Евразийский кардиологический журнал. — 2018. — №3. — С.14-25. [Kiselev KV, Potekhina AV, Osyayeva MK. Development of concepts nomenclature for clinical decision support system in diagnostics of angina pectoris. Eurasian heart journal. 2018; 3: 14-25. (In Russ.)]
4. Нугуманова А.Б., Байбурун Е.М., Мансурова М.Е., Барахнин В.Б. Автоматическое извлечение решеток понятий из медицинских текстов на основе комбинации анализа формальных понятий и технологий бутстраппинга // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. — 2018. — Т.16. — №4. — С.140-152. [Nugumanova AB, Bayburin EM, Mansurova ME, Barakhnin VB. Automatic extraction of formal lattices from medical texts based on the combination of the formal concept analysis and bootstrapping technologies. Vestnik NSU. Series: Information Technologies. 2018; 16(4): 140-152. (In Russ.)] doi: 10.25205/1818-7900-2018-16-4-140-152.
5. Сбоев А.Г., Селиванов А.А., Рыбка Р.Б. и др. Современные методы экстракции связанных именованных сущностей на примере биомедицинских текстовых данных // Вестник Военного инновационного технополиса «Эра». — 2022. — Т.3. — №1. — С.57-67. [Sboev AG, Selivanov AA, Rybka RB. Sovremennyye metody ehkstraksitsii svyazannykh imenovannykh sushchnostey na primere biomeditsinskikh tekstovykh dannyykh. Vestnik Voennogo innovatsionnogo tekhnopolisa «Ehra». 2022; 3(1): 57-67. (In Russ.)] doi: 10.56304/S2782375X22010193.
6. Будыкина А.В., Тихомирова Е.В., Киселев К.В. и др. Формализация знаний о желудочно-кишечном кровотечении неясного генеза для использования в интеллектуальных системах поддержки принятия врачебных решений // Вестник новых медицинских технологий. — 2020. — Т.27. — №4. — С.98-101. [Budykina AV, Tikhomirova EV, Kiselev KV. Formalization of knowledge about gastrointestinal bleeding of unknown origin for use in intelligent clinical decision support systems. Journal of new medical technologies. 2020; 27(4): 98-101. (In Russ.)] doi: 10.24411/1609-2163-2020-16741.
7. Шахмаметова Г.Р., Худоба Е.В. Разработка метода структурирования данных и знаний клинических рекомендаций // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений (ITIDS'2019): Труды VII Всероссийской научной конференции (с приглашением зарубежных ученых). — 2019. — Т.2. — С.237-240. [Shakhmametova GR, Khudoba EV. Razrabotka metoda strukturirovaniya dannykh i znanii klinicheskikh rekomendatsii. Informatsionnye tekhnologii intellektual'noi podderzhki prinyatiya reshenii (ITIDS'2019): Trudy VII Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii (s priglazheniem zarubezhnykh uchenykh). 2019; 2: 237-240. (In Russ.)]
8. Астанин П.А., Ронжин Л.В., Раузина С.Е. Алгоритм оценки специфичности терминов метазауриса UMLS на примере анализа семантической модели для дифференциальной диагностики аксиального спондилоартрита // Врач и информационные технологии. — 2023.

- №3. — С.30-42. [Astaniin PA, Ronzhin LV, Rauzina SE. Algorithm for UMLS metathesaurus concepts specificity estimation using example of analysis of the semantic model describing axial spondyloarthritis differential diagnostics. Medical doctor and information technologies. 2023; 3: 30-42. (In Russ.)] doi: 10.25881/18110193_2023_3_30.
9. Астанин П.А., Раузина С.Е., Зарубина Т.В. Автоматизированная система извлечения клинически релевантных терминов UMLS из текстов англоязычных статей на примере аксиального спондилоартрита // Социальные аспекты здоровья населения. — 2023. — Т.69. — №3. — С.1-28. [Astaniin PA, Rauzina SE, Zarubina TV. Automated system for recognizing clinically relevant UMLS terms in texts of the English-language articles exemplified by axial spondyloarthritis. Social Aspects of Population Health. 2023; 69(3): 1-28. (In Russ.)] doi: 10.21045/2071-5021-2023-69-3-14.
 10. Gusev A, Korsakov I, Novitsky R, et al. Feature extraction method from electronic health records in Russia. Proceedings of the 26th FRUCT Conference. 2020: 497–500. doi: 10.5281/zenodo.4007408.
 11. Орлова Н.В., Суворов Г.Н., Горбунов К.С. Этика и правовое регулирование использования больших баз данных в медицине // Медицинская этика. — 2022. — Т.10. — №3. — С.4-9. [Orlova NV, Suvorov GN, Gorbunov KS. Ethics and legal regulation of using large databases in medicine. Medical Ethics. 2022; 10(3): 4-9. (In Russ.)] doi: 10.24075/medet.2022.056.
 12. Cossin S, Margaux J, Larrouture I, et al. Semi-Automatic Extraction of Abbreviations and their Senses from Electronic Health Records. 2021: 1-12.
 13. Ежков А.А. Анализ исследований в области обработки неструктурированных текстов в медицине // Наука и Просвещение: сборник статей II Международной научно-практической конференции «Научное обозрение». — 2022. — С.23-26. [Ezhkov AA. Analiz issledovaniy v oblasti obrabotki nestrukturirovannykh tekstov v meditsine. Nauka i Prosveshchenie: sbornik statei II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Nauchnoe obozrenie». 2022: 23-26. (In Russ.)]
 14. Шрайберг Я.Л., Дмитриева Е.Ю., Смирнова О.В. и др. Разработка системы взаимосвязанных классификаций: сопоставление Государственного рубрикатора научно-технической информации и Универсальной десятичной классификации // Научные и технические библиотеки. — 2023. — №11. — С.36-65. [Shraiberg YaL, Dmitrieva EYu, Smirnova OV. Developing the system of interconnected classifications: Comparing the State Rubricator of Sci-tech Information and Universal Decimal Classification. Scientific and Technical Libraries. 2023; 11: 36-65. (In Russ.)] doi: 10.33186/1027-3689-2023-11-36-65.
 15. Пикалёв Я.С. Разработка системы нормализации текстовых корпусов // Проблемы искусственного интеллекта. — 2022. — №25(2). — С.64-78. [Pikalev YaS. Razrabotka sistemy normalizatsii tekstovyykh korpusov. Problemy iskusstvennogo intellekta. 2022; 25(2): 64-78. (In Russ.)]
 16. Астапов Р.Л., Мухмадеева Р.М. Автоматизированная предобработка текста для определения эмоциональной окраски текста // Актуальные научные исследования в современном мире. — 2021. — №5-2(73). — С.19-23.
 17. Логунова Т.В., Щербакова Л.В., Васюков В.М., Шимкун В.В. Анализ алгоритмов классификации текстов // Universum: технические науки. — 2023. — №2-2(107). — С.4-20. [Astapov RL, Mukhmadeeva RM. Avtomatizirovannaya predobrabotka teksta dlya opredeleniya ehmtsional'noi okraski teksta. iScience. 2021; 5-2(73): 19-23. (In Russ.)] doi: 10.32743/UniTech.2023.107.2.15064.
 18. Груздев Д.Ю., Макаренко А.С., Коджебаш Д.О. Принципы создания аннотации корпуса текстов // Вестник МИТУ — МАРХИ. — 2023. — №1. — С.88-97. [Gruzdev DYU, Makarenko AS, Kodzhebash DO. Corpus annotation development principles. Vestnik MITU — MARHI. 2023; 1: 88-97. (In Russ.)] doi: 10.52470/2619046X_2023_1_88.
 19. Пашук А.В., Гуринович А.Б., Волорова Н.А., Кузнецов А.П. Анализ методов разрешения лексической многозначности в области биомедицины // Доклады БГУИР. — 2019 — №5(123). — С.60-65. [Pashuk AV, Gurinovich AB, Volorova NA, Kuznetsov AP. Analysis of the methods of word sense disambiguation in the biomedical domain. Doklady BGUIR. 2019; 5(123): 60-65. (In Russ.)] doi: 10.35596/1729-7648-2019-123-5-60-65.
 20. Валиев А.И., Лысенкова С.А. Применение методов машинного обучения для автоматизации процесса анализа содержания текста // Вестник кибернетики. — 2021. — №44(4). — С.12-15. [Valiev AI, Lysenkova SA. Application of machine learning methods for automation of the process of

- the text contents analysis. Proceedings in Cybernetics. 2021; 44(4): 12-15. (In Russ.)) doi: 10.34822/1999-7604-2021-4-12-15.
21. Lee J, Yoon W, Kim S, et al. BioBERT: a pre-trained biomedical language representation model for biomedical text mining. Bioinformatics. 2020; 36(4): 1234-1240. doi: 10.1093/bioinformatics/btz682.
 22. Zhang Y, Tiryaki F, Jiang M, et al. Parsing clinical text using the state-of-the-art deep learning based parsers: a systematic comparison. BMC Med Inform Decis Mak. 2019; 19(3): 77. doi: 10.1186/s12911-019-0783-2.
 23. Левинцева Ю.Д., Копаница Г.Д. Автоматическое определение типа аллергии из неструктурированных медицинских текстов на русском языке // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2021. — Т.21. — №3. — С.433-436. [Lenivtceva IuD, Kopanitsa GD. Automatic allergy classification based on Russian unstructured medical texts. Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. 2021; 21(3): 433-436. (In Russ.)) doi: 10.17586/2226-1494-2021-21-3-433-436.
 24. Хоружая А.Н., Козлов Д.В., Арзамасов К.М., Кремнева Е.И. Анализ текстов описаний КТ-исследований головного мозга с признаками внутричерепных кровоизлияний с помощью алгоритма дерева решений // Современ. технол. мед. — 2022. — Т. 14. — №6. — С. 34-41. [Khoruzhaya AN, Kozlov DV, Arzamasov KM, Kremneva EI. Text Analysis of Radiology Reports with Signs of Intracranial Hemorrhage on Brain CT Scans Using the Decision Tree Algorithm. Sovremennye tehnologii v medicine. 2022; 14(6): 34-41. (In Russ.)) doi: 10.17691/stm2022.14.6.04.
 25. Кротова О.С., Москалев И.В., Хворова Л.А., Назаркина О.М. Реализация эффективных моделей классификации медицинских данных методами интеллектуального анализа текстовой информации // Известия Алтайского государственного университета. — 2020. — №111(1). — С.99-104. [Krotova OS, Moskalev IV, Khvorova LA, Nazarkina OM. Implementation of effective models for classifying medical data using text mining. Izvestiya of Altai State University. 2020; 111(1): 99-104. (In Russ.)) doi: 10.14258/izvasu(2020)1-16.
 26. Ткаченко С.А., Коломыцева Е.П. Разработка подходов по выявлению именованных сущностей в биомедицинских текстах с использованием методов нечеткой логики // Вектор развития современной науки: Сборник статей VII Международной научно-практической конференции. — 2020. — С.34-41. [Tkachenko SA, Kolomytseva EP. Razrabotka podkhodov po vyyavleniyu imenovannykh sushchnostei v biomeditsinskikh tekstakh s ispol'zovaniem metodov nechetkoi logiki. Vektor razvitiya sovremennoi nauki: Sbornik statei VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. 2020: 34-41. (In Russ.))
 27. Зулкарнеев Р.Х., Юсупова Н.И., Сметанина О.Н. и др. Методы и модели извлечения знаний из медицинских документов // Информатика и автоматизация. — 2022. — Т.21. — №6. — С.1169-1210. [Zulkarneev RKH, Yusupova NI, Smetanina ON. Method and models of extraction of knowledge from medical documents. Informatics and Automation. 2022; 21(6): 1169-1210. (In Russ.)) doi: 10.15622/ia.21.6.4.
 28. Клышинский Э.С., Грибова В.В., Шахгельдян К.И. и др. Алгоритм автоматического выделения жалоб пациентов из историй болезни // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. — 2019. — №22. — С.204-209. [Klyshinskii EhS, Gribova VV, Shakhgel'dyan KI. Algoritm avtomaticheskogo vydeleniya zhalob patsientov iz istorii bolezni. Novye informatsionnye tehnologii v avtomatizirovannykh sistemakh. 2019; 22: 204-209. (In Russ.))

29. Легашев Л.В., Шухман А.Е., Болодурина И.П. и др. Обработка русскоязычных неструктурированных медицинских текстов и вероятностное прогнозирование групп заболеваний // Врач и информационные технологии. — 2022. — №4. — С.52-63. [Legashev LV, Shukhman AE, Bolodurina IP. Russian unstructured clinical texts processing and probabilistic classification of disease groups. Medical doctor and information technologies. 2022; 4: 52-63. (In Russ.)] doi: 10.25881/18110193_2022_4_52.
30. Сердюк Ю.П., Власова Н.А., Момот С.Р. Система извлечения упоминаний симптомов из текстов на естественном языке с помощью нейронных сетей // Программные системы: теория и приложения. — 2023. — Т.14. — №56(1). — С.95-123. [Serdyuk YuP, Vlasova NA, Momot SR. A system for extracting symptom mentions from texts by means of neural networks. Program Systems: Theory and Applications. 2023; 14(56(1)): 95-123. (In Russ.)] doi: 10.25209/2079-3316-2023-14-1-95-123.
31. Москалев И.В., Кротова О.С., Хворова Л.А. Автоматизация процесса извлечения структурированных данных из неструктурированных медицинских выписок с применением технологий интеллектуального анализа текстов // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. — 2020. — Т.4. — №1. — С.163-167. [Moskalev IV, Krotova OS, Khvorova LA. Avtomatizatsiya protsessa izvlecheniya strukturirovannykh dannykh iz nestruturovannykh meditsinskikh vypisok s primeneniem tekhnologii intellektual'nogo analiza tekstov. High-performance computing systems and technologies. 2020; 4(1): 163-167. (In Russ.)]
32. Du X, Zhu R, Li Y, Anjum A. Language model-based automatic prefix abbreviation expansion method for biomedical big data analysis. Future Gener Comput Syst. 2019; 98: 238-251. doi: 10.1016/j.future.2019.01.016.
33. Chang JT, Schütze H, Altman RB. Creating an online dictionary of abbreviations from MEDLINE. J Am Med Inform Assoc. 2002; 9(6): 612-620. doi: 10.1197/jamia.m1139.
34. Qiao J, Jinling L, Xinghua L. Deep contextualized biomedical abbreviation expansion. Proceedings of the 18th BioNLP Workshop and Shared Task in Florence, Italy. 2019: 88-96. doi: 10.18653/v1/W19-5010.
35. Juyong K, Gong L, Khim J, et al. Improved clinical abbreviation expansion via non-sense-based approaches. Proceedings of Machine Learning Research. 2020; 136: 161-178.
36. Skreta M, Arbabi A, Wang J, et al. Automatically disambiguating medical acronyms with ontology-aware deep learning. Nat Commun. 2021; 12(1): 5319. doi: 10.1038/s41467-021-25578-4.

ВАСИЛЬЕВ Ю.А.,

к.м.н., ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва, Россия, e-mail: VasilevYA1@zdrav.mos.ru

ГУСЕВ А.В.,

к.т.н., ООО К-Скай, г. Петрозаводск, Россия; ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, г. Москва, Россия, e-mail: agusev@webiomed.ru

МИХАЙЛОВА А.А.,

ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва, Россия, e-mail: MikhajlovaAA8@zdrav.mos.ru

ШАРОВА Д.Е.,

ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва, Россия, e-mail: SharovaDE@zdrav.mos.ru

АРЗАМАСОВ К.М.,

к.м.н., ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва, Россия, e-mail: ArzamasovKM@zdrav.mos.ru

ВЛАДИМИРСКИЙ А.В.,

д.м.н., ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», г. Москва, Россия, e-mail: VladzimirskijAV@zdrav.mos.ru

ЭТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

DOI: 10.25881/18110193_2023_4_36

Аннотация. Внедрение систем искусственного интеллекта (СИИ) рассматривается как одно из самых перспективных направлений цифровой трансформации здравоохранения. Такие системы могут повысить качество лечебно-диагностических процессов и эффективность планирования и управления отраслью. Однако возможности СИИ по улучшению показателей общественного здоровья населения и повышению качества функционирования системы здравоохранения неразрывно связаны с этическими проблемами, которые возникают из-за особенностей создания и внедрения таких систем, а также их непосредственного влияния на жизнь и здоровье сообществ, отдельно взятых пациентов и медицинского персонала.

Для успешного внедрения СИИ в здравоохранение необходимо формировать и повышать доверие со стороны медицинского сообщества, пациентов, регуляторных и надзорных органов и других заинтересованных лиц. Для этого разработчикам и другим участникам работы с СИИ целесообразно следовать единым этическим принципам. На основе ведущих работ в области этики ИИ были разработаны 19 принципов создания СИИ в здравоохранении. Они были направлены на общественные обсуждения и скорректированы с учетом полученных комментариев. Соблюдение опубликованных принципов участниками процессов создания, тестирования, валидации, вывода на рынок и пост-продажного сопровождения может значительно повысить доверие к СИИ и способствовать успешному внедрению этических СИИ в здравоохранение.

Ключевые слова: искусственный интеллект в здравоохранении; этика искусственного интеллекта; цифровизация здравоохранения; этические принципы; доверие.

Для цитирования: Васильев Ю.А., Гусев А.В., Михайлова А.А., Шарова Д.Е., Владимирский А.В. Этические принципы разработки систем искусственного интеллекта для здравоохранения. Врач и информационные технологии. 2023; 4: 36-41. doi: 10.25881/18110193_2023_4_36.

VASILIEV Y.A.,

PhD, SBHI «SPCC for DTT of MHD», Moscow, Russia, e-mail: VasilevYA1@zdrav.mos.ru

GUSEV A.V.,

PhD, «K-SkAI» LLC, Petrozavodsk, Russia; Russian Research Institute of Health, Moscow, Russia, e-mail: GusevAV17@zdrav.mos.ru

MIKHAILOVA A.A.,

SBHI «SPCC for DTT of MHD», Moscow, Russia, e-mail: MikhajlovaAA8@zdrav.mos.ru

SHAROVA D.E.,

SBHI «SPCC for DTT of MHD», Moscow, Russia, e-mail: SharovaDE@zdrav.mos.ru

ARZAMASOV K.M.,

PhD, SBHI «SPCC for DTT of MHD», Moscow, Russia, e-mail: ArzamasovKM@zdrav.mos.ru

VLADZYMYRSKY A.V.,

DSc, SBHI «SPCC for DTT of MHD», Moscow, Russia, e-mail: VladzimirskijAV@zdrav.mos.ru

ETHICAL PRINCIPLES OF THE DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS FOR HEALTHCARE

DOI: 10.25881/18110193_2023_4_36

Abstract. *Implementation of Artificial Intelligence (AI) is considered one of the most promising directions in the digital transformation of healthcare. Such systems can improve the quality of therapeutic and diagnostic processes and the efficiency of planning and managing the healthcare industry. However, the potential of AI to enhance public health indicators and improve the functioning quality of the healthcare system is inextricably linked to ethical issues arising from the specific aspects of their creation and implementation, as well as their direct impact on the life and health of communities, individual patients, and medical personnel.*

It is necessary to form and increase trust from the medical community, patients, regulatory and supervisory bodies, and other interested parties in order to implement AI in healthcare. For this purpose, it is advisable for AI developers and other involved parties to follow a set of unified ethical principles. Based on leading work in the field of AI ethics, 19 principles for the creation of AI in healthcare were developed. They were directed to public discussions and adjusted in consideration of the feedback. Adherence to the published principles by participants in the processes of creation, testing, validation, market launch, and postmarketing support can significantly increase trust in AI and contribute to the successful implementation of ethical AI systems in healthcare.

Keywords: *artificial intelligence in healthcare; ethics of artificial intelligence; digitalization of healthcare; ethical principles; trust.*

For citation: *Vasiliev Y.A., Gusev A.V., Mikhailova A.A., Sharova D.E., Arzamasov K.M., Vladzimirskyy A.V. Ethical principles of the development of artificial intelligence systems for healthcare. Medical doctor and information technology. 2023; 4: 36-41. doi: 10.25881/18110193_2023_4_36.*

ВВЕДЕНИЕ

Технологии искусственного интеллекта (ИИ) играют значительную роль в цифровой трансформации системы здравоохранения. Их применение может оказать существенное влияние на улучшение качества лечебно-диагностических процессов, создание новых цифровых сервисов для пациентов, врачей и руководителей, а также обеспечить повышение эффективности планирования и управления отраслью [1]. «Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года» определила здравоохранение одной из приоритетных отраслей для применения технологий ИИ [2].

В Российской Федерации растет число компаний-разработчиков, создающих специализированные системы искусственного интеллекта (далее — СИИ) для медицины и здравоохранения [3]. При этом из-за особенностей создания, внедрения и эксплуатации таких систем, а также их существенного влияния на общественное здоровье, отдельно взятых пациентов и медицинский персонал, существует ряд этических проблем, включая [4, 5]:

- недостаточность доказательств эффективности и безопасности;
- повышенный риск причинения вреда здоровью пациента при применении ИИ-систем по сравнению с обычными медицинскими изделиями;
- высокий риск деградации метрик точности ИИ-систем при их внедрении в реальную клиническую практику;
- ответственность за ошибочные решения, принятые медицинским работником на основе рекомендаций ИИ;
- проблема «черного ящика»;
- страхи перед ИИ-системами;
- обеспечение конфиденциальности медицинской информации и ряд других проблем.

Отдельной проблемой является активное лоббирование бизнес-интересов ИТ-индустрии, зачастую противоречащее принципам обеспечения безопасности и качества медицинской помощи. Требования «упрощения» и «сокращения» процедур регистрации программного обеспечения на основе СИИ в качестве медицинского изделия ведут к колоссальному росту рисков для пациентов. Особенно способствует лоббированию то, что разработчики СИИ исключены

из перечня физических и юридических лиц, несущих ответственность за причинение вреда здоровью пациента при оказании медицинской помощи. Существует неоправданная «зона безопасности» для ИТ-индустрии — получение прибыли возможно всеми способами, а ответственность перед пациентами отсутствует.

Недобросовестность целого ряда представителей ИТ-индустрии наглядно продемонстрирована в научном исследовании проблем регистрации СИИ в качестве медицинских изделий в США. По состоянию на начало 2023 г. в США зарегистрировано 521 соответствующее медицинское изделие. При анализе выявлены существенные расхождения между информацией о работе и точности СИИ в регистрационных досье и в маркетинговых материалах у 19,3% медицинских изделий с СИИ [6]. Фактически, в каждом пятом случае разработчики намеренно вводили в заблуждение врачебное и пациентское сообщества. Размер и характер нанесенного ущерба еще предстоит выяснить. Данный пример наглядно иллюстрирует хищнический подход — полное игнорирование элементарных морально-этических норм в угоду извлечению прибыли.

Для развития реального использования СИИ в здравоохранении важно системно формировать и улучшать доверие со стороны медицинского сообщества, регуляторных и надзорных органов, организаторов здравоохранения [10], пациентов и других заинтересованных лиц, а также обеспечивать прозрачность создания и работы СИИ. Для этого разработчикам СИИ целесообразно следовать единым этическим принципам.

Целью настоящей статьи стала разработка комплекса этических принципов создания и развития СИИ в здравоохранении.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Разработка предложенных принципов велась на основе следующих документов:

1. Кодекс этики в сфере искусственного интеллекта [7];
2. Кодекс профессиональной этики врача Российской Федерации [8];
3. Руководство Всемирной организации здравоохранения «Этические принципы и использование искусственного интеллекта в здравоохранении» [9].

С применением аналитических методов научного познания (анализ, синтез) разработан проект комплекса этических принципов в соответствии с целью исследования.

Первая версия сформулированных авторами этических принципов была направлена для общественного обсуждения летом 2023 г. участникам подкомитета «Искусственный интеллект в здравоохранении» ТК-164, участникам Московского эксперимента по применению технологий компьютерного зрения в радиологической службе города, членам ассоциации разработчиков и пользователей искусственного интеллекта в медицине «Национальная база медицинских знаний» (НБМЗ). В результате авторы получили 66 замечаний и предложений, которые были внимательно изучены и учтены при подготовке финальной версии принципов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Далее перечислены этические принципы создания систем искусственного интеллекта для здравоохранения.

Принцип №1. Миссия СИИ состоит в повышении качества и эффективности работы системы здравоохранения, включая сокращение предотвратимой заболеваемости и смертности, снижение числа дефектов при оказании медицинской помощи, вовлечение пациентов в управление собственным здоровьем и повышение эффективности цифровой трансформации здравоохранения.

Принцип №2. Принцип «не навреди» является краеугольным для создания и развития СИИ, которые ни при каких обстоятельствах не должны ухудшать качество и угрожать безопасности оказания медицинской помощи пациентам, а также ограничивать права пациентов на получение гарантированной медицинской помощи.

Принцип №3. Разработчики должны придерживаться этических обязательств и ценностей, которыми руководствуется медицинский персонал в своих действиях по отношению к пациенту в клинической практике, включая Кодекс профессиональной этики врача Российской Федерации.

Принцип №4. СИИ должны разрабатываться при участии медицинских работников — специалистов по соответствующим профилям оказания медицинской помощи и процессам организации

и оказания медицинской помощи, поддержка которых обеспечивается в СИИ.

Принцип №5. При выводе результатов работы СИИ медицинским работникам и иным пользователям они должны быть проинформированы о том, что данные результаты получены с использованием технологий ИИ, а также о возможных рисках, связанных с использованием СИИ.

Принцип №6. На всех этапах жизненного цикла СИИ разработчики должны уважать и защищать неприкосновенность частной жизни, конфиденциальность данных пациентов и обеспечивать информационную безопасность.

Принцип №7. Разработчики должны быть уверены в том, что разрабатываемая ими система сохраняет заявленные метрики качества работы во всех условиях применения (субъектах РФ, медицинских организациях, в определенных группах пациентов или клинических ситуациях, при экспорте СИИ), поддерживаемых производителем. В этой связи после выпуска СИИ на рынок разработчики должны проводить регулярный мониторинг работы системы, включая контроль ее точности и качества, осуществлять оценку возможности негативного влияния на отдельно взятых пациентов или группы пациентов и устранять такое влияние.

Принцип №8. Разработчики должны проводить оценку рисков, возникающих в связи с применением СИИ, с использованием моделей оценки рисков, определенных национальными или международными стандартами, принятыми в здравоохранении, а также проводить сопоставление указанных рисков с пользой, обеспечиваемой ИИ. Разработчики должны публиковать результаты такой оценки в общедоступных источниках для того, чтобы пользователи СИИ могли оценить соотношение риска и пользы их использования.

Принцип №9. При создании СИИ должны быть приняты все доступные меры для исключения возможности стигматизации и, как следствие, дискриминации пациентов и групп пациентов из-за состояния их здоровья, пола, возраста, национальности и др. Никакие СИИ в здравоохранении не должны поддерживать или усугублять существующие формы стигматизации.

Принцип №10. Разработчики должны стремиться к максимально возможной прозрачности и объяснимости работы СИИ. Это необходимо

для минимизации ошибок и облегчения надзора за такими системами, в частности для пострегистрационного мониторинга.

Принцип №11. Разработчики должны публиковать результаты разработки и валидации СИИ в открытой научной литературе, обеспечивая тем самым доверие к таким системам и прозрачность метрик качества и точности работы ИИ, а также зрелость используемых технических подходов, архитектур, фреймворков и т. д.

Принцип №12. Разработчикам необходимо искать баланс между обеспечением объяснимости алгоритма (если это происходит за счет потери точности) и повышением точности (если это происходит за счет потери объяснимости работы данного алгоритма).

Принцип №13. На этапе технических и клинических испытаний разработчики должны выявлять, избегать и своевременно устранять систематические ошибки в СИИ, т. к. такие ошибки могут повлечь за собой неравенство в качестве оказываемых медицинских услуг и негативно повлиять на отдельные группы населения.

Принцип №14. Разработчики не должны допускать применение в рамках технических и клинических испытаний наборов данных, использованных ими для обучения и тестирования моделей ИИ, включая предоставление таких или иных наборов данных организациям, участвующим в проведении любых видов внешних испытаний.

Принцип №15. Разработчики должны обеспечить репрезентативность и качество наборов данных, используемых для разработки и тестирования СИИ.

Принцип №16. Разработчики должны разрабатывать программы обучения для врачей и других медицинских работников и помогать активно внедрять и практиковать использование технологий ИИ.

Принцип №17. Разработчики должны способствовать повышению информированности пациентов (законных представителей) и приобретению ими необходимых знаний о работе и применении технологий ИИ в медицине и здравоохранении.

Принцип №18. Разработчики должны следить за новейшими технологиями и результатами научных исследований в области ИИ для здравоохранения, анализировать возникающие с ними

возможности по улучшению создаваемых продуктов, а также выявлять этические дилеммы и совместно предлагать пути их решения.

Принцип №19. Разработчики должны способствовать расширению доступа к обезличенным наборам данных, которые могут быть использованы для разработки СИИ и научных исследований в сфере ИИ для медицины и здравоохранения, в рамках действующего законодательства и наличия у них таких возможностей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенные в данной работе этические принципы предназначены всем участниками процессов создания, тестирования, валидации, вывода на рынок и пост-продажного сопровождения СИИ. Приверженность данным принципам может внести свой вклад в формирование доверия к СИИ со стороны практического здравоохранения. При этом они не заменяют собой обязательств и требований существующего нормативно-правового и технического регулирования в сфере программного обеспечения и ИИ, но определяют этические принципы в вопросах, по которым нормативное регулирование отсутствует или недостаточно четко определено.

Конкретные подходы и технические решения для выполнения изложенных в данной работе этических принципов осуществляется разработчиками самостоятельно. Вместе с этим целесообразно предложить и внедрить инструменты независимого контроля за полнотой и добросовестностью соответствия данным принципам.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источники финансирования. Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках НИОКР «Разработка платформы повышения качества ИИ-Сервисов для медицинской диагностики» (№ ЕГИСУ: 123031400006-0) в соответствии с Приказом от 21.12.2022 г. № 1196 «Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счет средств бюджета города Москвы государственным бюджетным (автономным) учреждениям подведомственным Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 годов» Департамента здравоохранения города Москвы.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Серрато П., Халамка Д. Цифровая трансформация здравоохранения. Переход от традиционной к виртуальной медицинской помощи: монография. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2022. [Cerrato P, Halamka J. The digital reconstruction of healthcare: Transitioning from brick and mortar to virtual care: monography. Moscow: GEOTAR-Media, 2022. (In Russ.)]
2. Указ Президента РФ от 07.05.2018 №204. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». Доступно по: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201805070038>. Ссылка активна на 01.11.2023. [Decree of the President of the Russian Federation on 07.05.2018 № 204. «O nacional'nyh celjah i strategicheskikh zadachah razvitija Rossijskoj Federacii na period do 2024 goda». Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201805070038>. Accessed 01.11.2023. (In Russ.)]
3. Гусев А.В., Владимирский А.В., Шарова Д.Е. и др. Развитие исследований и разработок в сфере технологий искусственного интеллекта для здравоохранения в Российской Федерации: итоги 2021 года // Digital Diagnostics. – 2022. – Т.3. – №3. – С.33-49. [Gusev AV, Vladzimirskyy AV, Sharova DS, et al. Evolution of research and development in the field of artificial intelligence technologies for healthcare in the Russian Federation: results of 2021. Digital Diagnostics. 2022; 3(3): 178-194. (In Russ.)] doi: 10.17816/DD107367.
4. Шарова Д.Е., Зинченко В.В., Ахмад Е.С. и др. К вопросу об этических аспектах внедрения систем искусственного интеллекта в здравоохранении // Digital Diagnostics. – 2021. – Т.2. – №3. – С.356-368. [Sharova DS, Zinchenko VV, Akhmad ES, et al. On the issue of ethical aspects of the artificial intelligence systems implementation in healthcare. Digital Diagnostics. 2021; 2(3): 356-368. (In Russ.)] doi: 10.17816/DD77446.
5. Гусев А.В., Астапенко Е.М., Иванов И.В., Зарубина Т.В., Кобринский Б.А. Принципы формирования доверия к системам искусственного интеллекта для сферы здравоохранения // Вестник Росздравнадзора. — 2022. — №2. — С.25-33. [Gusev AV, Astapenko EM, Ivanov IV, Zarubina TV, Kobrinskij BA. Principles of building trust in artificial intelligence systems for healthcare. Bulletin of Roszdravnadzor. 2022; 2: 25-33. (In Russ.)]
6. Clark P, Kim J, Aphinyanaphongs Y. Marketing and US Food and Drug Administration Clearance of Artificial Intelligence and Machine Learning Enabled Software in and as Medical Devices: A Systematic Review. JAMA Netw Open. 2023; 6(7): e2321792. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2023.21792.
7. Кодекс этики в сфере искусственного интеллекта (принят 26.10.2021) // Альянс в сфере ИИ. Доступно по: <https://a-ai.ru/ethics/index.html>. Ссылка активна на 01.11.2023. [AI Ethics Code (adopted on 10/26/2021) // AI Alliance Russia. Available at: <https://a-ai.ru/ethics/index.html>. Accessed 01.11.2023. (In Russ.)]
8. Кодекс профессиональной этики врача Российской Федерации (принят Первым национальным съездом врачей Российской Федерации 05.10.2012). Доступно по: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_174773/. Ссылка активна на 01.11.2023. [Kodeks professional'noj jetiki vracha Rossijskoj Federacii (adopted by the First National Congress of Doctors of the Russian Federation on 05.10.2012) Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_174773/. Accessed 01.11.2023. (In Russ.)]
9. Этические принципы и использование искусственного интеллекта в здравоохранении: руководство ВОЗ. Всемирная организация здравоохранения. 2021. Лицензия: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. [Ethics and governance of artificial intelligence for health: WHO guidance. World Health Organization. 2021. (In Russ.)]
10. Владимирский А.В., Гусев А.В., Шарова Д.Е. и др. Методика оценки уровня зрелости информационной системы для здравоохранения // Врач и информационные технологии. — 2022. — №3. — С. 68-84. [Vladimirskij AV, Gusev AV, SHarova DE, et al. Metodika ocenki urovnya zrelosti informacionnoj sistemy dlya zdravoohraneniya. Vrach i informacionnye tekhnologii. 2022; 3: 68-84. (In Russ.)]

КРЕМНЕВА Е.И.,

к.м.н., ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицины Департамента здравоохранения Москвы», г. Москва, Россия

СМОРЧКОВА А.К.,

ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицины Департамента здравоохранения Москвы», г. Москва, Россия, e-mail: SmorchkovaAK@zdrav.mos.ru

ХОРУЖАЯ А.Н.,

ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицины Департамента здравоохранения Москвы», г. Москва, Россия, e-mail: KhoruzhayaAN@zdrav.mos.ru

СЕМЕНОВ Д.С.,

к.т.н., ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицины Департамента здравоохранения Москвы», г. Москва, Россия, e-mail: SemenovDS4@zdrav.mos.ru

МАЛЬЦЕВ А.В.,

к.т.н., ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицины Департамента здравоохранения Москвы», г. Москва, Россия, e-mail: maltsevanton@ya.ru

ШАРОВА Д.Е.,

ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицины Департамента здравоохранения Москвы», г. Москва, Россия, e-mail: SharovaDE@zdrav.mos.ru

ЗИНЧЕНКО В.В.,

ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицины Департамента здравоохранения Москвы», г. Москва, Россия, e-mail: ZinchenkoVV1@zdrav.mos.ru

ВЛАДИМИРСКИЙ А.В.,

д.м.н., ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицины Департамента здравоохранения Москвы», г. Москва, Россия, e-mail: VladzimirskijAV@zdrav.mos.ru

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАБОРОВ ДАННЫХ ДЛЯ СЕРВИСОВ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ В НЕЙРОВИЗУАЛИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ СОЗДАНИЯ НАБОРА ДАННЫХ С КТ-ИЗОБРАЖЕНИЯМИ ГОЛОВНОГО МОЗГА С ПРИЗНАКАМИ КРОВОИЗЛИЯНИЯ

DOI: 10.25881/18110193_2023_4_42

Аннотация. Цель исследования. Демонстрация особенностей создания наборов данных для нейровизуализации на примере подготовки набора данных с компьютерно-томографическими изображениями головного мозга с наличием и отсутствием признаков внутричерепного кровоизлияния.

Методы. В основе формирования набора данных использована методология, разработанная Научно-практическим клиническим центром диагностики и телемедицины (регламент подготовки набора данных), которая осуществляется в 4 этапа: планирования (подбор необходимых ключевых слов для первичного отбора исследований, определение критериев включения и исключения, источника медицинской информации), отбора (первич-

ная выгрузка текстовой информации – краткого анамнеза и протоколов описания из Единого радиологического информационного сервиса города Москва за 2020 год, анонимизация полученных данных, анализ по наличию ключевых слов), разметки и верификации (заполнение сопроводительной таблицы с клиническими и техническими данными, отбор исследований двумя врачами-рентгенологами и экспертная верификация врачом-нейрорадиологом) и публикации (публикация набора данных онлайн, государственная регистрация).

Результаты. В процессе создания набора данных отмечены и сформулированы особенности, применимые для нейрорадиологии, которые должны учитываться в задачах обучения, тестирования и дообучения сервисов искусственного интеллекта для диагностики заболеваний головного мозга: использование специфических терминов, использование изображений с наименьшим количеством шума и наибольшей контрастностью, а также использование соотношений подтипов целевой патологии, характерное для её состава в популяции. Подготовлен набор данных с компьютерно-томографическими изображениями, содержащими признаки внутримозгового кровоизлияния. В итоговую версию набора данных включены анонимизированные исследования 209 пациентов (109 – с наличием патологии, 100 – с её отсутствием): DICOM-изображения, сопроводительная текстовая таблица с клинико-анамнестическими (пол, возраст, тип(ы) и количество кровоизлияний, наличие/отсутствие сопутствующей патологии) и техническими параметрами (толщина среза и реконструкции).

Заключение. Продемонстрирована специфика подготовки наборов данных для обучения и тестирования нейрорадиологических сервисов искусственного интеллекта.

Ключевые слова: методология, наборы данных, искусственный интеллект, внутримозговые кровоизлияния, нейровизуализация

Для цитирования: Кремнева Е.И., Сморгочкова А.К., Хоружая А.Н., Семенов Д.С., Мальцев А.В., Шарова Д.Е., Зинченко В.В., Владимировский А.В. Особенности формирования наборов данных для сервисов с искусственным интеллектом в нейровизуализации на примере создания набора данных с КТ-изображениями головного мозга с признаками кровоизлияния. *Врач и информационные технологии.* 2023; 4: 42-53. doi: 10.25881/18110193_2023_4_42.

KREMNEVA E.I.,

PhD, «Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies Department of Health of the City of Moscow», Moscow, Russia

SMORCHKOVA A.K.,

«Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies Department of Health of the City of Moscow», Moscow, Russia, e-mail: SmorchkovaAK@zdrav.mos.ru

KHORUZHAYA A.N.,

«Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies Department of Health of the City of Moscow», Moscow, Russia, e-mail: KhoruzhayaAN@zdrav.mos.ru

SEMENOV D.S.,

PhD, «Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies Department of Health of the City of Moscow», Moscow, Russia, e-mail: SemenovDS4@zdrav.mos.ru

MALTSEV A.V.,

PhD, «Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies Department of Health of the City of Moscow», Moscow, Russia, e-mail: maltsevanton@ya.ru

SHAROVA D.E.,

«Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies Department of Health of the City of Moscow», Moscow, Russia, e-mail: SharovaDE@zdrav.mos.ru

ZINCHENKO V.V.,

«Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies Department of Health of the City of Moscow», Moscow, Russia, e-mail: ZinchenkoVV1@zdrav.mos.ru

VLADZYMYRSKYI A.V.,

DSc, «Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies Department of Health of the City of Moscow», Moscow, Russia, e-mail: VladzimirskijAV@zdrav.mos.ru

SPECIAL ASPECTS OF DATASET CREATION FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE SERVICES IN NEUROIMAGING: THE CASE OF A DATASET CREATION WITH CT IMAGES OF THE BRAIN WITH SIGNS OF HEMORRHAGE

DOI: 10.25881/18110193_2023_4_42

Abstract. *Aim. To demonstrate the special aspects of dataset creation for neuroimaging using the example of preparing a dataset with computed tomographic images of the brain with and without signs of intracranial hemorrhage.*

Methods. The creation of the dataset is based on the methodology developed by the Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine (regulations for preparing the dataset), which is carried out in 4 stages: planning (selection of the necessary keywords for the initial selection of studies, determination of inclusion and exclusion criteria, source of medical information), selection (initial downloading of the text information - a brief patient history and description protocols from the Unified Radiological Information Service of the city of Moscow for 2020, anonymization of the received data, keywords analysis), labeling and verification (filling out the accompanying table with clinical and technical data, study selection by

two radiologists and an expert verification by a neuroradiologist) and publication (publication of the dataset online, state registration).

Results. In the process of creating a dataset, the special aspects, defined by the neuroradiology background, were noted and formulated, which should be taken into the account when executing the primary training, testing and additional training of artificial intelligence services for diagnosing brain diseases: the use of specific terms, the use of images with the least amount of noise and the highest contrast, as well as the use of ratios of subtypes of the target pathology corresponding to its ratio in the population. A dataset with computed tomography images containing signs of intracranial hemorrhage was prepared. The final version of the dataset included anonymized studies of 209 patients (109 with the pathology, 100 without the pathology): DICOM images, an accompanying text table with clinical features (gender, age, type(s) and number of hemorrhages, presence/absence of concomitant pathology) and technical parameters (slice thickness and reconstruction slice thickness).

Conclusion. The special aspects of preparing datasets for training and testing neuroradiological artificial intelligence services were demonstrated.

Keywords: methodology, datasets, artificial intelligence, intracranial hemorrhages, neuroimaging

For citation: Kremneva E.I., Smorchkova A.K., Khoruzhaya A.N., Semenov D.S., Maltsev A.V., Sharova D.E., Zinchenko V.V., Vladzimirskyy A.V. Special aspects of dataset creation for artificial intelligence services in neuroimaging: the case of a dataset creation with ct images of the brain with signs of hemorrhages. *Medical doctor and information technology.* 2023; 4: 42-53. doi: 10.25881/18110193_2023_4_42.

ВВЕДЕНИЕ

Технологии искусственного интеллекта (ИИ) применяются практически во всех отраслях медицины: в диагностике, лечении, организации здравоохранения, телемедицине [1, 2]. В лучевой диагностике сервисы ИИ призваны повысить эффективность работы, уменьшить количество ошибок в заключениях врачей и достичь диагностических целей с минимальными трудозатратами путем внедрения в практику подобных интеллектуальных решений в качестве помощника врача [3]. При этом разработка, в том числе и качество, наборов данных для создания и тестирования сервисов ИИ имеет критическое значение для эффективной, качественной и безопасной дальнейшей работы подобных сервисов в системе здравоохранения [4].

В области нейрорадиологии имеется множество особенностей, связанных со сложной регионарной анатомией и физиологией головного мозга, затрудняющих дифференциальную диагностику неврологических патологий. Таким образом, создание наборов данных с нейровизуализационными исследованиями требует учета нюансов, возникающих именно в связи со спецификой данной области лучевой диагностики.

Вследствие вышеизложенного целью нашей работы является демонстрация особенностей создания нейровизуализационных наборов данных в ходе решения задачи по подготовке набора данных «MosMedData: набор диагностических компьютерно-томографических изображений головного мозга с наличием и отсутствием признаков внутричерепного кровоизлияния»

на основании данных, полученных в рамках Эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения города Москвы [5].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Создание набора данных «MosMedData: набор диагностических компьютерно-томографических изображений головного мозга с наличием и отсутствием признаков внутричерепного кровоизлияния» включало в себя следующие этапы, проиллюстрированные на схеме-алгоритме (Рис. 1).

1. Этап планирования

На этапе планирования была произведена разработка базовых диагностических требований. В рамках данной работы клиническая задача была сформулирована как «определение наличия внутричерепного кровоизлияния (ВЧК) и его типа, автоматический подсчет его объема в см³ на компьютерно-томографических изображениях головного мозга без использования контрастного усиления». Рентгенологические признаки наличия патологии были взяты из классификации внутричерепных кровоизлияний Американского колледжа радиологии [6] и разделены по следующим типам: эпидуральные (ЭДК), субдуральные (СДК), субарахноидальные (САК) и внутримозговые (ВМК). В ответе ИИ-сервиса, согласно базовым диагностическим требованиям (БДТ), должна обязательно

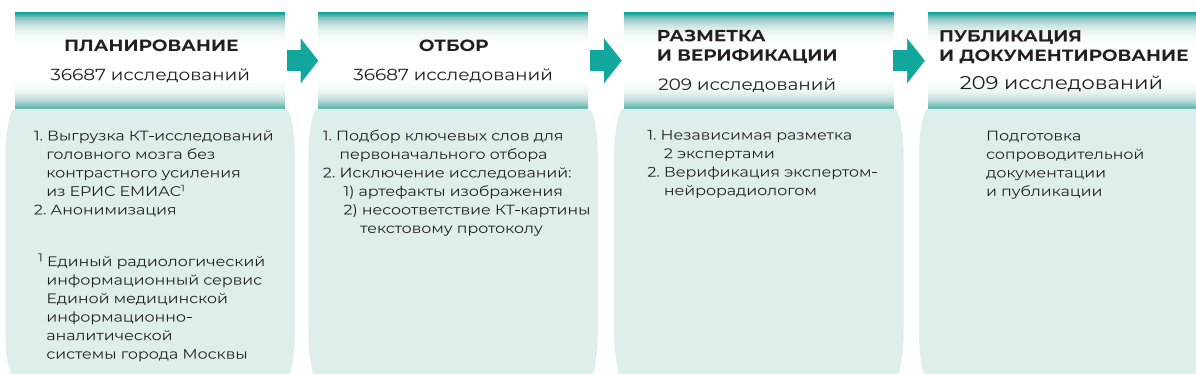


Рисунок 1 — Схема-алгоритм этапов создания набора данных «MosMedData: набор диагностических компьютерно-томографических изображений головного мозга с наличием и отсутствием признаков внутричерепного кровоизлияния».

присутствовать вероятность наличия кровоизлияния, выраженная в виде числа, должны быть определены локализация кровоизлияния в виде контура или маски, а также тип кровоизлияния — один (строго ЭДК, строго САК и т.п.) или несколько (ЭДК+САК, САК+СДК+ВМК и т.п.). Дополнительно сервисом может быть подсчитан объем кровоизлияния (целое или дробное число в мл или см³), а также может быть определено наличие переломов костей черепа, представленное в виде контура или маски. Основным клиническим применением соответствующего ИИ-сервиса может являться проспективный отбор исследований с вероятным наличием патологии и реорганизация очереди для описания исследований врачом-рентгенологом с учетом этой информации (повышение приоритетности для пациентов с подозрением на внутримозговое кровоизлияние).

Источником исходных данных была база данных Единого радиологического информационного сервиса Единой медицинской информационно-аналитической системы города Москвы (ЕРИС ЕМИАС), где содержатся КТ-изображения, а также сопроводительная клиническая информация в текстовом виде, такая как пол, возраст пациента, краткий анамнез и протокол описания КТ-исследования. Таким образом, были сформированы критерии отбора и предварительного включения исследований в набор данных.

Критерии включения:

- возраст пациента не менее 18 лет;
- отсутствие в анамнезе факта проведения хирургического вмешательства на головном мозге (т.к. кровоизлияния, особенно небольших размеров, в результате хирургического вмешательства не являлись нашей целевой патологией и могли внести дополнительные сложности в классификацию);
- наличие в информационной системе сопроводительного протокола описания исследования с заключением;
- присутствие на изображениях искомого признака патологии для отбора исследований класса «наличие патологии».

Критерии невключения:

- возраст пациента менее 18 лет;
- наличие в анамнезе факта проведения хирургического вмешательства на головном мозге;

- отсутствие в информационной системе сопроводительного протокола описания исследования с заключением.

Критерии исключения:

- наличие артефактов изображения, способных потенциально затруднить работу ИИ-сервиса (динамические артефакты, артефакты от кости и/или металла, артефакты неисправности детектора);
- для исследований с использованием контрастного усиления — отсутствие в информационной системе серии КТ-изображений в нативной фазе.

2. Этап отбора

Первичный отбор подходящих исследований производился по наличию в протоколах описания соответствующих ключевых слов: «кровоизлияние», «гематома», «геморрагия», «эпидуральный», «субдуральный», «субарахноидальный», «паренхиматозный», «внутричерепной», «внутричерепной», «внутричерепной», сокращенные таким образом, чтобы все возможные формы слов были включены (например, «кровоизлияние» = «кровоизлиян»). Для первичного отбора из ЕРИС ЕМИАС была выгружена текстовая информация (уникальный идентификатор исследования (UID), дата исследования, возраст пациента, пол, протокол описания) об исследованиях КТ головного мозга, проведенных в подключенных к системе стационарных медицинских учреждениях за 2020 год, общим числом 36687. Эти данные были автоматически проанализированы на предмет соответствия ключевым словам по принципу «присутствует/отсутствует в тексте описания».

3. Этап разметки и верификации

В качестве разметчиков были привлечены два врача-рентгенолога со стажем не менее двух лет, в качестве эксперта для верификации — врач-рентгенолог со стажем 13 лет. Разметчики случайным образом отбирали подходящие под критерии включения исследования из первичной выборки для формирования итоговой версии набора данных.

Велась ретроспективная разметка (simple labeling), для которой была подготовлена сопроводительная таблица, включающая в себя следующие данные: UID, возраст, пол пациента, наличие или отсутствие искомой патологии (да/нет),

в данном случае — внутричерепного кровоизлияния, тип кровоизлияния (ЭДК, СДК, САК, ВМК), число кровоизлияний (единичное, многочисленные), факт прорыва в ликворные пространства (да/нет), наличие переломов костей черепа или сочетанной патологии (да/нет), а также некоторые технические характеристики: толщина сканирования (в мм), толщина реконструкции (в мм), DFOV (Display Field Of View), kVp (kilovoltage peak), mA (mAmpere), фильтр реконструкции, производитель томографа, а также примечания, которые разметчик на своё усмотрение мог внести для каждого конкретного исследования. По итогам разметки в набор данных вошло 209 исследований с примерно одинаковым соотношением КТ-серий с наличием и отсутствием целевой патологии (100 и 109, соответственно).

4. Этап публикации и документирования

Итоговая версия набора данных была опубликована онлайн на платформе MosMed.ai в виде четырех частей от набора данных. Первые две предназначены для проведения функционального тестирования, направленного на понимание того, способен ли сервис ИИ выделять исследования с нормой и исследования с патологией (по 5 исследований в каждом: 2 без патологии, 2 с патологией, 1 с техническим

дефектом). Вторые две части набора данных предназначены для проведения калибровочного тестирования, цель которого — подтвердить или опровергнуть заявленные разработчиком метрики работы сервиса ИИ (чувствительность, специфичность, точность и др.). В них содержатся по 100 исследований также с равномерным распределением по наличию и отсутствию целевой патологии. Все наборы данных анонимизированы и имеют краткую сопроводительную техническую и статистическую информацию, представленную на платформе [7, 8]. Необходимо отметить, что размера выборки в представленных тестовых наборах данных может быть недостаточно для определенных видов тестирований: это зависит напрямую от целей и нулевой гипотезы конкретного исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенной работы был создан и опубликован набор данных «MosMedData: набор диагностических компьютерно-томографических изображений головного мозга с наличием и отсутствием признаков внутричерепного кровоизлияния» [9]. В процессе его создания были сформулированы следующие особенности, не входящие в общую методологию [5], но которые потенциально могут влиять на качество

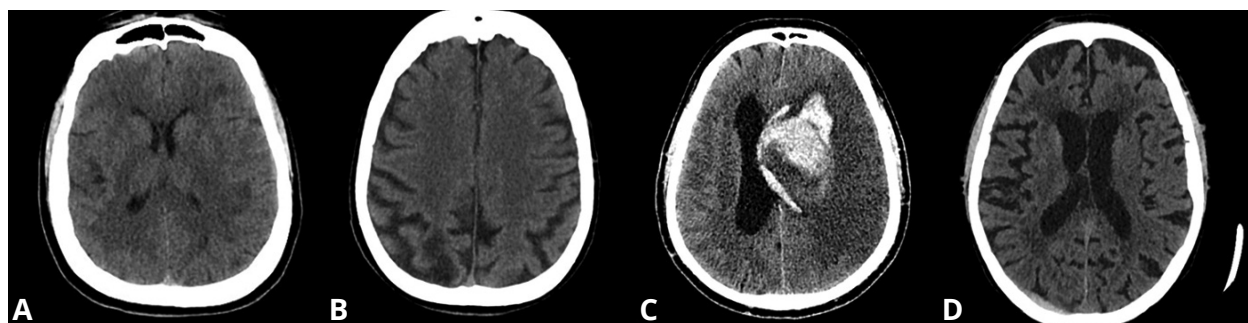


Рисунок 2 — Компьютерно-томографические снимки головного мозга в аксиальной проекции с наличием и отсутствием признаков целевой патологии: а) отсутствие признаков целевой патологии; б) наличие кистозно-глиозных изменений в затылочной доле справа с отрицательным масс-эффектом, но отсутствие признаков целевой патологии; в) признаки геморрагической трансформации по типу внутримозговой медиальной гематомы обширного ишемического инсульта в бассейне левой средней мозговой артерии с прорывом крови в желудочковую систему, субарахноидальное пространство, с отеком левого полушария головного мозга и выраженным латеральным смещением срединных структур; д) признаки пластинчатой субдуральной гематомы в затылочной области справа.

работы ИИ: использование наиболее специфических терминов, использование изображений с наименьшим количеством шума и наибольшей контрастностью (должно обеспечиваться оптимальными настройками томографа на этапе составления рутинного протокола), а также использование соотношений подтипов целевой патологии, характерное для её состава в популяции. Общий же подход к формированию набора данных представлен на Рисунке 1.

Примеры КТ-снимков (с патологией и без патологии) из полных серий КТ-изображений, включенные в работу и содержащие от 300 до 500 срезов (в зависимости от толщины срезов), представлены на Рисунке 2.

Пример общей структуры текстовой сопроводительной информации представлен в Таблице 1.

ОБСУЖДЕНИЕ

Общепризнанные критерии и рекомендации для создания качественного набора научных данных, такие как принцип FAIR (Findability, Accessibility, Interoperability, and Reuse — легкие для обнаружения, доступные, совместимые и готовые для повторного использования данные), часто не являются применимыми в области медицины ввиду сложностей с конфиденциальным характером собираемой информации и её ограниченным количеством [10]. Несмотря

Таблица 1 — Пример структуры данных, представленных в сопроводительной информационной таблице

ID	Возраст	Пол	Патология (1/0)	Тип кровоизлияния	Многочисленные? (1/0)	Прорыв в ликворные пространства (1/0)	Переломы костей черепа (1/0)	Сочетанная патология (1/0)	В заключении	Толщина сканирования (мм)	Толщина реконструкции (мм)	DFOV	kVp	mA	Фильтр реконструкции	Производитель
1	60	М	1	ВМК	1	0	1	0	Геморрагические ушибы лобных, правых височной и теменной долей – увеличение размеров, нарастание перифокального отека. Плащевидная СДГ правой височно-теменной области – без динамики. САК – менее выражено. Переломы см протокол. Гемомастоидеум, гемотимпанум	1	1	220	120	220	FC68	TOSHIBA
2	74	Ж	1	ВМК	0	1	0	0	КТ-картина ОНМК по геморрагическому типу с прорывом крови в желудочковую систему, без динамики по сравнению с данными от 25.11.2020 года. ASPECTS 10	0,5	0,5	220	120	280	FC62	TOSHIBA

на наличие в литературе большого количества работ с описанием процессов обучения и/или тестирования сервисов ИИ, далеко не все авторы описывают процесс сбора и оформления наборов данных достаточно подробно. Но и в тех работах, где методология описывалась, имеются существенные различия в подходах, что также может быть обусловлено различиями в формулировках клинической задачи для каждого сервиса ИИ.

Ker J. и др. разработали алгоритм с использованием технологии трехмерных сверточных нейронных сетей, детектирующих состояния острых ВЧК, используя одновременно двух- (есть/нет) и четырехтипную классификацию (эпидуральные, субдуральные, субарахноидальные и внутримозговые кровоизлияния). При формировании набора данных из 399 КТ-исследований авторы проводили отбор ретроспективно по ключевым словам в заключениях специалистов, вручную проверяя каждое из них. Однако не сообщается, кто именно (квалификации врачей, стаж) занимался проверкой и отбором исследований по признакам патологии, и как проходил отбор [11].

Самым объемным из ныне существующих нейровизуализационных наборов данных является набор, собранный для конкурса Северо-американского радиологического общества (Radiology Society of North America — RSNA) на платформе Kaggle по созданию сервиса ИИ для обнаружения ВЧК различного генеза на КТ-изображениях (<https://www.kaggle.com/c/rsna-intracranial-hemorrhage-detection>). Он состоит из 25 312 КТ-исследований. Стоит отметить, что авторы данной статьи, в отличие от других научных публикаций, подробно описывают методологию создания своего набора данных [12]. Они отмечают, что исследования были получены из архивов трех медицинских организаций, в каждой из которых использовалась разная методика отбора соответствующих исследований. Далее, после получения разрешения этического комитета, проводилась анонимизация исследований и выгрузка в платформу аннотирования изображений, с которой работали отобранные и обученные на 24 кейсах аннотаторы-нейрорадиологи (60 из 114 подавших заявку специалистов). Результаты аннотации сравнивались между собой и далее

оценивались двумя экспертами-нейрорадиологами с 10- и 30-летним стажем, соответственно. Изображения с несоответствующими аннотациями в наиболее сложных случаях анализировались дополнительно главным экспертом-нейрорадиологом. После этого формировались тестовые, тренировочные и валидационные наборы данных (21 784 исследований для тренировки и валидации, 3 528 — для тестирования). Для нормализации и устранения дисбаланса между метками исследований (по типам кровоизлияний), данные из каждого учреждения были распределены по 500 исследований, при этом последние 100 выделялись для тестирования и валидации и отдельно пересматривались дополнительно двумя нейрорадиологами.

На основании изученных публикаций и материалов можно отметить, что до настоящего времени отсутствует унифицированный подход к методологии создания наборов данных. Этот факт являлся основной причиной создания на базе Центра соответствующих методических рекомендаций, а также описания нами нейрорадиологической специфики, которой следует уделять внимание разработчикам сервисов ИИ для диагностики заболеваний головного мозга и участвующим в этом процессе медицинским специалистам. Тем не менее, требуется больше исследований для доказательства того, как различные нюансы в выборе количества аннотаторов, соотношения исследований с присутствием и отсутствием патологии, количества этих исследований в наборе данных, а также их искусственное изменение (поворот, отражение и т.д.), типов вводимой клинической и технической информации и другие аспекты могут повлиять на итог в обучении, тестировании и дообучении сервисов ИИ для нейрорадиологических задач.

Так, одним из важных практических наблюдений для авторов статьи оказалась специфика подбора соответствующих ключевых слов для более быстрого обнаружения протоколов КТ-исследований с искомыми патологическими признаками. Например, присутствие в протоколе описания таких ключевых слов, как «гематома», «геморрагия» или «кровоизлияние» не всегда означало наличие в исследовании признаков целевой патологии, так как зачастую эти слова используются врачами-рентгенологами для обозначения обратного (например, фраза

«признаков кровоизлияния не выявлено»). По этой причине при дальнейшем отборе большее внимание уделялось более специфичным терминам («эпидуральный», «субдуральный», «субарахноидальный», «паренхиматозный»), которые объединялись в поиске вместе с более общими «геморрагия» или «кровоизлияние» для ключевой конструкции.

Проблему можно решить применением алгоритмов для автоматизированного анализа текстовых медицинских протоколов. Использование ИИ для классификации медицинских текстовых данных является активно развивающимся направлением современной науки, но работ с русским языком по данной тематике крайне мало. В области классификации текстов на иностранных языках, в частности английском и китайском, используется широкий спектр обучаемых моделей: классические модели машинного обучения, модели глубокого обучения [13, 14]. Kokina D. и др. применили две модели машинного обучения (модель k-ближайших соседей и модель ключевых слов) для анализа более структурированных протоколов заключений по маммографии и менее структурированных протоколов заключений КТ органов грудной клетки. Их результаты показали, что российские рентгенологические тексты протоколов могут быть успешно классифицированы с помощью методов интеллектуального анализа текста [15]. Это, в свою очередь, может помочь при наборе как КТ-, так и МРТ-исследований, содержащих определенную целевую патологию.

Некоторые литературные данные обращают внимание на толщину срезов как на показатель, влияющий на обучение сервисов ИИ, которые направлены на детектирование внутричерепных кровоизлияний [16, 17]. Согласно им, малая толщина среза не является обязательным условием: максимальная используемая толщина среза достигает 5 мм, минимальная — 0,5 мм. Тем не менее, зависимость эффективности распознавания от толщины среза тоже является предметом для дальнейшего научного анализа, так же, как и прочие технические характеристики настройки режимов томографов. Так, мы обратили внимание на тот факт, что сервис ИИ, созданный для диагностики кровоизлияний на компьютерной томографии головного мозга и принявший участие в Эксперименте по

применению алгоритмов машинного зрения для анализа медицинских изображений, гораздо хуже (то есть с большей частотой ложноположительных результатов) анализирует исследования с недостаточной контрастностью и сильным шумом, которые могут стать следствием некорректной настройки компьютерных томографов. В связи с этим возможны два потенциальных направления работы по улучшению работы ИИ: как улучшение алгоритмов распознавания, независимо от качества изображений, так и работа с настройками протоколов томографов для улучшения качества изображений за счет подбора оптимальных технических параметров.

Кроме того, отдельного обсуждения требует структура набора данных — соотношение исследований с патологией и без, а также соотношение исследований внутри патологической группы с разными подтипами патологии, в нашем случае — с четырьмя различными типами внутричерепных кровоизлияний. Взятое нами равномерное соотношение нормальных исследований и исследований с патологией в наборе данных можно объяснить стремлением к формированию такого набора данных, который способен обеспечить оптимальное обучение или тестирование сервисов ИИ. Тем не менее, нам не удалось найти литературу, в которой бы рассматривалось распределение частоты встречаемости типов кровоизлияний в общей группе пациентов с ВЧК разного генеза (как травматического, так и нетравматического). Поэтому мы подходили к набору исследований компьютерной томографии с патологией также с точки зрения равномерного распределения, взяв примерно равное количество исследований со всеми типами ВЧК. При этом данный аспект тоже требует дополнительных исследований.

Ещё одним вопросом для обсуждения при создании наборов данных с наличием разметки является подбор и минимально необходимое количество врачей-разметчиков для получения корректных меток надлежащего качества. В одной из работ Кульберг Н.С. и др. [18] анализируется взаимосвязь между числом независимых экспертных интерпретаций и количеством, а также типом, совершаемых ошибок, изучается согласованность заключений рентгенологов (врачей-разметчиков), принимавших участие в подготовке набора данных с КТ-изображениями

легких CT LungCa-500. Было показано, что в данной модели консенсус между несколькими врачами не является обязательным условием для качественной разметки наборов данных, т.к. основная ответственность за конечную интерпретацию лежит на экспертах. В нашей работе принимали участие два врача-рентгенолога в качестве разметчиков, и один врач-рентгенолог экспертного уровня в нейровизуализации — в качестве эксперта (арбитра).

Выводы

Подводя итог, мы можем выделить три основные особенности, которые необходимо учитывать при формировании набора данных для использования в задачах нейровизуализации:

- 1) внимание к ключевым словам — использование более специфичных терминов для поиска со «стоп-фразами» (например, «кровоизлияния не выявлено») и применение для этих целей алгоритмов анализа текстовых протоколов заключений;
- 2) отбор исследований с большей контрастностью и наиболее низким уровнем шума (при этом изначальная разница в качестве изображения от разных медицинских организаций может быть обусловлена, в том числе, отсутствием единых протоколов сканирования в разных учреждениях);

3) внимание к «взвешенности» патологии в эпидемиологической структуре:

- в наборах данных для обучения сервисов ИИ — процентное соотношение подтипов патологии, более близкое к распределению в популяции;
- для тестирования и дообучения сервисов ИИ — равномерное распределение для оптимального тестирования возможностей сервиса ИИ.

Можно заключить, что на данном этапе развития технологий искусственного интеллекта разработана общая методология создания наборов данных как для обучения, так и для тестирования сервисов ИИ, предназначенных для анализа медицинских изображений, но при этом важно учитывать специфику подготовки наборов данных для сервисов ИИ с определенными модальностями, такими как нейрорадиологическое направление. В рамках дальнейшей работы над данной исследовательской темой планируется рассмотреть специфику других неврологических патологий и других модальностей.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источник финансирования. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-25-20231, <https://rscf.ru/project/22-25-20231/>.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. McCarthy J, Minsky ML, Rochester N, Shannon CE. A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence, August 31, 1955. *AI Mag.* 2006; 27(4): 12. doi: 10.1609/aimag.v27i4.1904.
2. He J, Baxter SL, Xu J, Xu J, Zhou X, Zhang K. The practical implementation of artificial intelligence technologies in medicine. *Nat Med.* 2019; 25(1): 3--6. doi: 10.1038/s41591-018-0307-0.
3. Hosny A, Parmar C, Quackenbush J, Schwartz LH, Aerts HJWL. Artificial intelligence in radiology. *Nat Rev Cancer.* 2018; 18(8): 500-10. doi: 10.1038/s41568-018-0016-5.
4. Шарова Д.Е., Михайлова А.А., Гусев А.В. и др. Анализ мирового опыта в регулировании использования медицинских данных для целей создания систем искусственного интеллекта на основе машинного обучения // *Врач и информационные технологии.* — 2022. — №4. — С.28-39. [Sharova DE, Mikhailova AA, Gusev AV, et al. An analysis of global experience in regulations on the use of medical data for artificial intelligence systems development based on machine learning. *Vrach Inf Tehnol.* 2022; 4: 28-39. (In Russ.)] doi: 10.25881/18110193_2022_4_28.
5. Морозов С.П., Владимирский А.В., Ледихова Н.В. и др. Московский эксперимент по применению компьютерного зрения в лучевой диагностике: вовлеченность врачей-рентгенологов // *Врач и информационные технологии.* — 2020. — №4. — С.14-23. [Morozov SP, Vladzmyrskyu AV, Ledikhova NV, et al. Moscow experiment on computer vision in radiology: involvement and participation of radiologists. *Vrach Inf Tehnol.* 2020; 4: 14-23. (In Russ.)] doi: 10.37690/1811-0193-2020-4-14-23.

6. Salmela MB, Mortazavi S, Jagadeesan BD, Broderick DF, Burns J, Deshmukh TK, et al. ACR Appropriateness Criteria ® Cerebrovascular Disease. *J Am Coll Radiol*. 2017; 14(5): S34-61. doi: 10.1016/j.jacr.2017.01.051.
7. Набор данных КТ головного мозга для поиска признаков кровоизлияний — наборы данных в лучевой диагностике. Доступно по: Ссылка активна на 22.11.2023. [Nabor dannyh KT golovnogo mozga dlya poiska priznakov krovoizliyanij — nabory dannyh v luchevoj diagnostike. Available at: <https://mosmed.ai/datasets/nabor-dannyih-kt-golovnogo-mozga-s-tselyu-testirovaniya-ii-servisov-dlya-poiska-priznakov-krovoizliyanij/>. Accessed 22.11.2023. (In Russ.)]
8. Набор данных КТ головного мозга с целью тестирования ИИ-сервисов для поиска признаков кровоизлияний — наборы данных в лучевой диагностике. Доступно по: <https://mosmed.ai/datasets/nabor-dannyih-kt-golovnogo-mozga-s-tselyu-testirovaniya-ii-servisov-dlya-poiska-priznakov-krovoizliyanij5/>. Ссылка активна на 22.11.2023. [Nabor dannyh KT golovnogo mozga s cel'yu testirovaniya II-servisov dlya poiska priznakov krovoizliyanij — nabory dannyh v luchevoj diagnostike. Available at: <https://mosmed.ai/datasets/nabor-dannyih-kt-golovnogo-mozga-s-tselyu-testirovaniya-ii-servisov-dlya-poiska-priznakov-krovoizliyanij5/>. Accessed 22.11.2023. (In Russ.)]
9. Свидетельство о государственной регистрации базы данных RU 2022620559/ 16.03.2022 Морозов С.П., Павлов НА, Петрайкин А.В., Кремнева Е.И., Хоружая А.Н., Смorchкова А.К. MosMedData: набор диагностических компьютерно-томографических изображений головного мозга с наличием и отсутствием признаков внутричерепного кровоизлияния. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48137428>. Ссылка активна на 22.11.2023. [Certificate of the state registration of the database RU 2022620559/ 16.03.2022 Morozov SP, Pavlov NA, Petraikin AV, Kremneva EI, Khoruzhaya AN, Smorchkova AK MosMedData: Nabor diagnosticheskikh komp'yutenro-tomograficheskikh izobrazhenij golovnogo mozga s nalichiem I otsutstviem priznakov vnutricherepnogo krovoizlijanija. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48137428>. Accessed 22.11.2023. (In Russ.)]
10. Wilkinson MD, Dumontier M, Aalbersberg IJJ, Appleton G, Axton M, Baak A, et al. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Sci Data*. 2016; 3(1): 160018. doi: 10.1038/sdata.2016.18.
11. Ker J, Singh SP, Bai Y, Rao J, Lim T, Wang L. Image Thresholding Improves 3-Dimensional Convolutional Neural Network Diagnosis of Different Acute Brain Hemorrhages on Computed Tomography Scans. *Sensors*. 2019; 19(9): 2167. doi: 10.3390/s19092167.
12. Flanders AE, Prevedello LM, Shih G, Halabi SS, Kalpathy-Cramer J, Ball R, et al. Construction of a Machine Learning Dataset through Collaboration: The RSNA 2019 Brain CT Hemorrhage Challenge. *Radiol Artif Intell*. 2020; 2(4): e209002. doi: 10.1148/ryai.2020190211.
13. Qing L, Linhong W, Xuehai D. A Novel Neural Network-Based Method for Medical Text Classification. *Future Internet*. 2019; 11(12): 255. doi: 10.3390/fi11120255.
14. Hughes M, Li I, Kotoulas S, Suzumura T. Medical Text Classification Using Convolutional Neural Networks. In: *Informatics for Health: Connected Citizen-Led Wellness and Population Health*. IOS Press; 2017: 246-50. Available at: <https://ebooks.iospress.nl/doi/10.3233/978-1-61499-753-5-246>. Accessed 22.11.2023.
15. Kokina D, Meshalkin Y, Gomboleviskiy V., Vladzimirskyy A., Andreychenko A., Morozov S. RPS 605-10 Text mining in Russian radiology reports. *ECR 2021 Book of Abstracts. Insights Imaging*. 2021; 12(S2): 75. doi: 10.1186/s13244-021-01014-5.
16. Chilamkurthy S, Ghosh R, Tanamala S, Biviji M, Campeau NG, Venugopal VK, et al. Deep learning algorithms for detection of critical findings in head CT scans: a retrospective study. *The Lancet*. 2018; 392(10162): 2388-96. doi: 10.1016/S0140-6736(18)31645-3.
17. Lee H, Yune S, Mansouri M, Kim M, Tajmir SH, Guerrier CE, et al. An explainable deep-learning algorithm for the detection of acute intracranial haemorrhage from small datasets. *Nat Biomed Eng*. 2019; 3(3): 173-82. doi: 10.1038/s41551-018-0324-9.
18. Кульберг Н.С., Решетников Р.В., Новик В.П., и др. Вариабельность заключений при интерпретации КТ-снимков: один за всех и все за одного // *Digital Diagnostics*. — 2021. — Т.2. — №2. — С.105-118. [Kulberg NS, Reshetnikov RV, Novik VP, et al. Inter-observer variability between readers of CT images: all for one and one for all. *Digit Diagn*. 2021; 2(2): 105-18. (In Russ.)] doi: 10.17816/DD60622.

ВАСИЛЬЕВ Ю.А.,

к.м.н., ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва, Россия, e-mail: npcmmr@zdrav.mos.ru

АРЗАМАСОВ К.М.,

к.м.н., ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва, Россия, e-mail: ArzamasovKM@zdrav.mos.ru

КОЛСАНОВ А.В.,

профессор РАН, д.м.н., профессор, ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, Самара, Россия, e-mail: info@samsmu.ru

ВЛАДИМИРСКИЙ А.В.,

д.м.н., ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва, Россия, e-mail: npcmmr@zdrav.mos.ru

ОМЕЛЯНСКАЯ О.В.,

ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва, Россия, e-mail: npcmmr@zdrav.mos.ru

ПЕСТРЕНИН Л.Д.,

ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва, Россия, e-mail: PestreninLD@zdrav.mos.ru

НЕЧАЕВ Н.Б.,

к.м.н., ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва, Россия, e-mail: NechaevNB@zdrav.mos.ru

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ДАННЫХ 800 ТЫСЯЧ ФЛЮОРОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

DOI: 10.25881/18110193_2023_4_54

Аннотация. Цель: Оценить опыт применения программного обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта в рамках Московского эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений.

Материал и методы: проведено ретроспективное исследование. В работу включены заключения 3 ИИ-сервисов по 822 тысячам флюорографических исследований за период с 05.01.2022 по 29.12.2022. В 28341 исследовании присутствовала патология (3,4%). Оценка проводилась с помощью метрик качества бинарных классификаторов и статистических методов. Произведена оценка метрик в зависимости от порога срабатывания ИИ-сервиса.

Результаты: Отмечается выраженный дисбаланс исследований с нормой и патологией. Получены высокие значения дисбаланс-чувствительных метрик и низкие значения дисбаланс-нечувствительных метрик, что связано с высокой долей ложноположительных и ложноотрицательных результатов. При изменении порога срабатывания можно добиться снижения количества ложноотрицательных результатов. Так, например, один из ИИ-сервисов при пороге 0,05 правильно выявил 46,8% исследований с нормой при отсутствии ложноотрицательных результатов.

Выводы: Количество ложноотрицательных заключений для рассмотренных версий ИИ-сервисов является препятствием для автономного их внедрения в рутинную практику, что требует их доработки. Оптимизацией порога срабатывания сервиса можно добиться безошибочного определения 46,8% исследований с нормой, но ввиду закрытости ИИ-сервисов этот метод ограничен. Дальнейшие варианты оптимизации сервисов требуют дополнительного изучения.

Ключевые слова: флюорография; рентгенологические исследования; нейронные сети

Для цитирования: Васильев Ю.А., Арзамасов К.М., Колсанов А.В., Владимирский А.В., Омелянская О.В., Пестренин Л.Д., Нечаев Н.Б. Опыт применения программного обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта на данных 800 тысяч флюорографических исследований. Врач и информационные технологии. 2023; 4: 54-65. doi: 10.25881/18110193_2023_4_54.

VASILEV Y.A.,

PhD, State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow "Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department", Moscow, Russia, e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru

ARZAMASOV K.M.,

PhD, State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow "Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department", Moscow, Russia, e-mail: ArzamasovKM@zdrav.mos.ru

KOLSANOV A.V.,

Prof. of RAS, DSc, Prof., Samara State Medical University, Samara, Russia, e-mail: info@samsmu.ru

VLADZYMYRSKY A.V.,

DSc, State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow "Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department", Moscow, Russia, e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru

OMELYANSKAYA O.V.,

State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow "Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department", Moscow, Russia, e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru

PESTRENIN L.D.,

State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow "Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department", Moscow, Russia, e-mail: PestreninLD@zdrav.mos.ru

NECHAEV N.B.,

PhD, State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow "Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department", Moscow, Russia, e-mail: NechaevNB@zdrav.mos.ru

EXPERIENCE OF APPLICATION ARTIFICIAL INTELLIGENCE SOFTWARE ON 800 THOUSAND FLUOROGRAPHIC STUDIES

DOI: 10.25881/18110193_2023_4_54

Abstract. Aim: To evaluate the experience of using software based on artificial intelligence technologies as part of the Moscow experiment on the use of innovative technologies in the field of computer vision for the analysis of medical images.

Material and methods: A retrospective study was conducted. The work includes the conclusion outputs of 3 AI services on 822 thousand fluorographic studies for the period from 05.01.2022 to 29.12.2022. Pathology was present in 28,341 studies (3.4%). The assessment was carried out using quality metrics of binary classifiers and statistical methods. The metrics were assessed depending on the AI services threshold.

Results: There was a pronounced imbalance between studies with norm and pathology. High values of imbalance-sensitive metrics and low values of imbalance-insensitive metrics were obtained, which was associated with a high rate of false positive and false negative results. By changing the threshold, it was possible to reduce the number of false negative results. For example, one of the AI services, with a threshold of 0.05, correctly identified 46.8% of studies with the norm, and with no false negative results.

Conclusions: The number of false negative results for the studied versions of AI services is an obstacle to their autonomous implementation into routine practice, which requires their improvement. By optimizing the service threshold, it is possible to achieve error-free identification of 46.8% of studies with the norm, but due to the closed nature of AI services, this method is limited. Further options for optimizing services require additional study.

Keywords: fluorography; X-ray examinations; neural networks

For citation: Vasilev Y.A., Arzamasov K.M., Kolsanov A.V., Vladzimirsky A.V., Omelyanskaya O.V., Pestrenin L.D., Nechaev N.B. Experience of application artificial intelligence software on 800 thousand fluorographic studies. Medical doctor and information technology. 2023; 4: 54-65. doi: 10.25881/18110193_2023_4_54.

ВВЕДЕНИЕ

Заболевания легких, такие как хроническая обструктивная болезнь легких и инфекции нижних дыхательных путей, занимают 3 и 4 место среди причин глобальной смертности населения по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) [1], а злокачественные новообразования являются ведущей причиной смертности среди пациентов с онкологическими заболеваниями [2]. В Российской Федерации болезни органов дыхания занимают 2 место среди причин смертности от неонкологических заболеваний [3]. Летальность в первый год после установления диагноза рака легкого составляет 47,2% [4].

Рентгенологические исследования грудной клетки оказались одним из самых эффективных методов диагностики как с точки зрения диагностической ценности, так и с точки зрения экономической эффективности и доступности [5-9]. В условиях большого потока пациентов все более широкое применение находят алгоритмы машинного обучения, в первую очередь основанные на анализе визуальных данных, помогающие улучшить диагностику тех или иных патологических состояний, которые могли быть пропущены врачом ввиду низкого качества изображения, небольшого размера изменений (менее 1 см) или человеческого фактора [10-12].

Уровень точности алгоритмов глубокого машинного обучения, которые применяются при анализе рентгенологических исследований, достигает 98% [10, 11], что сопоставимо с точностью врачей лучевой диагностики или превышает ее [13, 14]. В совокупности с экономической составляющей [15] это открывает перспективы улучшения диагностики заболеваний легких при использовании данных алгоритмов, особенно в регионах, не обеспеченных достаточным количеством врачей-рентгенологов [16].

С 19.02.2020 в медицинских организациях города Москвы начат эксперимент по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения города Москвы (Эксперимент) [17]. Одним из направлений этого Эксперимента является обработка флюорографических (ФЛГ) исследований сервисами с программным обеспечением (ПО) на основе технологий искусственного интеллекта (именуемыми

в Эксперименте и далее по тексту ИИ-сервисы) [18].

Цель исследования: проанализировать промежуточные результаты обработки ФЛГ ИИ-сервисами, которые применялись в рамках Эксперимента, и оценить эволюцию показателей их диагностической точности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Было проведено ретроспективное исследование работы ИИ-сервисов, участвующих в Эксперименте. Для оценки результатов Эксперимента сравнивались заключения, предоставленные ИИ-сервисом, с врачебными заключениями того же исследования. Для работы были включены 955138 исследований за период с 05.01.2022 по 29.12.2022.

Для сравнения результатов работы ИИ-сервиса с заключениями врачей-рентгенологов данные переведены в форму бинарной классификации: «1» — при наличии описания целевой патологии, «0» — при отсутствии. Целевыми патологиями для ИИ-сервисов были: пневмоторакс, гидроторакс, инфильтрация, очаговое образование, диссеминация, эмфизема легких, наличие полости, кальцинат, патология костей, расширение средостения и кардиомегалия. Так как врачебные заключения были написаны в свободной форме, для их анализа было разработано программное обеспечение (интерпретатор) с использованием технологий обработки естественного языка, результатом работы которого было выявление в заключении рентгенолога описания хотя бы одной из вышеуказанных патологий и приведение заключения к бинарной классификации. На основе работы интерпретатора создана выборка врачебных оценок, принятая за истину.

ИИ-сервисы в рамках Эксперимента представляли изображение с маркировкой патологических областей, а также текстовое описание исследования. В рамках настоящей работы использовался только показатель «вероятность наличия патологии в исследовании в целом», который принимал значения в диапазоне от 0 до 100%. Установление факта наличия патологии зависело от порога срабатывания. Если вероятность наличия патологии, выданная ИИ-сервисом, была выше или равна установленному порогу срабатывания, то результат расценивался как положительный, т.е. присваивалось значение «1», в противном случае — «0». Таким образом, формировались

таблицы соответствия оценок, полученных от ИИ-сервисов и по результатам работы интерпретатора текстов протоколов. Важно отметить, что архитектура алгоритмов глубокого обучения, лежащих в основе ИИ-сервисов, была неизвестна.

Для интерпретации ФЛГ применялось ПО от следующих производителей: ООО «ФтизисБиоМед», Россия; ООО «Платформа Третье Мнение», Россия и ООО «Медицинские скрининг системы», Россия. За выбранный период сервисы неоднократно меняли свои версии, поэтому для детального анализа из вышеуказанных продуктов были взяты по три версии ПО: последняя версия, на конец анализируемого периода, и две версии с наибольшим количеством обработанных исследований. В рамках исследования ИИ-сервисы были анонимизированы. В заключительной выборке из 955138 было оставлено 822100 исследований, содержащих результаты работы ИИ-сервисов, а также описание и заключение врача-рентгенолога.

Возраст исследуемых пациентов составил от 18 до 102 лет (средний возраст составил $49,9 \pm 17,7$ лет). Распределение по полу было следующим: 531160 (64,6%) мужчин и 290833 (35,4%) женщин.

Описание исследований выполнено 571 врачом-рентгенологом. Дизайн исследования предполагал сравнение результатов работы ИИ-сервисов и врачей-рентгенологов, поэтому качество описания исследований врачом-рентгенологом имело большое значение. В связи с этим были отобраны заключения, описанные врачами-рентгенологами, получившими высокие оценки на очередном врачебном аудите (10 врачей). Эти врачи наиболее полно предоставляют описание исследования, данные исследования были выделены в выборку экспертной группы.

Для оценки достоверности работы интерпретатора из выборки врачебных оценок были созданы 5 независимых выборок, содержащих 1000 случайных исследований в каждой, проверенных вручную врачом с 10-летним стажем. На данных заключениях была проведена кросс-валидации интерпретатора. Также из исследований, описанных экспертной группой врачей для последних версий сервисов, создана «выборка оценки интерпретатора». В нее были включены все исследования, в которых интерпретатор выявил описание патологии, а также случайные исследования, в которых интерпретатор и ИИ-сервис не выявили патологию. Общее количество

исследований в выборке составило 10% исследований для данной версии сервиса. Данная выборка была проверена вручную врачом с 10-летним стажем на предмет наличия одной из оцениваемых патологий в заключении врача-рентгенолога. Далее результаты ручной оценки сравнивались с результатами интерпретатора статистическими методами.

В работе оценивались следующие метрики диагностической точности: точность, чувствительность, специфичность, Точность отрицательного прогноза, F1-мера, коэффициент Каппа-Коэна, коэффициент корреляции Метьюса, ROC-AUC (AUC) — площадь под кривой ошибок, а также доля ложноотрицательных ответов сервиса [19].

Для статистической обработки результатов работы ИИ-сервисов и оценки работы интерпретаторов использовались тесты Колмогорова-Смирнова и Манна-Уитни. Для сравнения ИИ-сервисов между собой использовался тест МакНемара.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На первом этапе была произведена оценка качества работы интерпретатора с целью определения доверительного интервала точности при чтении заключений врача-рентгенолога, которое было проведено методом кросс-валидации на 5 независимых выборках. Полученные результаты представлены в таблице 1. Также установлено, что статистически значимая разница между «выборкой оценки интерпретатора», проведенной вручную, и интерпретатором отсутствовала (Сервис 1 версия 3 $p = 0,990$; Сервис 2 версия 3 $p = 1,000$; Сервис 3 версия 3 $p = 0,990$). Это свидетельствует о том, что метрические показатели работы интерпретатора для заключений врачей экспертной группы близки к 100%.

Произведено сравнение наличия патологии, полученной интерпретатором в выборке, описанной врачами экспертной группы, и выборке, не содержащей заключения врачей экспертной группы, с помощью критерия Хи-квадрат. Статистически значимой разницы между выборками получено не было ($p = 0,652$).

Описание патологических находок было определено в 28341 исследовании, что составляет 3,4% от всех анализируемых ФЛГ. Диагностические метрики, полученные в процессе Эксперимента, представлены в таблице 2.

Таблица 1 — Оценка работы интерпретатора заключений врача-рентгенолога

Метрика	Патология
Точность	0,990 (95% ДИ от 0,960 до 1,000)
Специфичность	0,990 (95% ДИ от 0,970 до 1,000)
Чувствительность	0,970 (95% ДИ от 0,920 до 1,000)
F1-мера	0,970 (95% ДИ от 0,900 до 1,000)
Точность отрицательного прогноза	0,990 (95% ДИ от 0,980 до 1,000)
Коэффициент корреляции Метьюса	0,960 (95% ДИ от 0,880 до 1,000)
Коэффициент Каппа-Коэна	0,960 (95% ДИ от 0,880 до 1,000)

Таблица 2 — Параметры диагностической точности ИИ-сервисов, полученные в ходе исследования

Сервис	Характер выборки	Всего исследований	Из них с патологиями	AUC	F1-мера	Точность	Чувствительность	Специфичность	Точность отрицательного прогноза	Доля ложноотрицательных ответов сервиса	Коэффициент Каппа-Коэна	Коэффициент Метьюса
Сервис 1 вер. 1	Все исследования	40847	1265 (3,10%)	0,697 [0,682-0,711]	0,137 [0,129-0,144]	0,772 [0,768-0,776]	0,587 [0,560-0,614]	0,778 [0,774-0,782]	0,969 [0,967-0,971]	29,21%	0,088 [0,087-0,088]	0,149 [0,137-0,160]
	Исследования, описанные врачами-экспертами	1361	56 (4,11%)	0,761 [0,693-0,830]	0,156 [0,144-0,221]	0,765 [0,742-0,787]	0,732 [0,616-0,848]	0,766 [0,743-0,789]	0,959 [0,946-0,971]	21,13%	0,112 [0,109-0,113]	0,195 [0,139-0,252]
Сервис 1 вер. 2	Все исследования	119325	4922 (4,12%)	0,648 [0,641-0,655]	0,177 [0,174-0,185]	0,837 [0,835-0,839]	0,433 [0,419-0,446]	0,855 [0,853-0,857]	0,960 [0,957-0,960]	36,20%	0,122 [0,122-0,123]	0,156 [0,149-0,164]
	Исследования, описанные врачами-экспертами	4353	125 (2,87%)	0,713 [0,668-0,758]	0,162 [0,128-0,176]	0,822 [0,811-0,833]	0,592 [0,506-0,678]	0,829 [0,817-0,840]	0,968 [0,966-0,977]	28,57%	0,106 [0,105-0,107]	0,171 [0,130-0,211]
Сервис 1 вер. 3	Все исследования	88612	2433 (2,75%)	0,715 [0,704-0,725]	0,126 [0,125-0,134]	0,766 [0,763-0,769]	0,638 [0,619-0,657]	0,770 [0,767-0,772]	0,973 [0,971-0,974]	26,58%	0,085 [0,084-0,085]	0,155 [0,147-0,163]
	Исследования, описанные врачами-экспертами	2616	83 (3,17%)	0,741 [0,687-0,796]	0,158 [0,134-0,184]	0,773 [0,757-0,789]	0,687 [0,587-0,787]	0,776 [0,760-0,792]	0,967 [0,960-0,976]	23,85%	0,105 [0,103-0,106]	0,183 [0,137-0,226]
Сервис 2 вер. 1	Все исследования	161989	6189 (3,82%)	0,669 [0,663-0,675]	0,230 [0,232-0,245]	0,899 [0,897-0,900]	0,413 [0,401-0,425]	0,918 [0,916-0,919]	0,961 [0,960-0,963]	36,99%	0,193 [0,193-0,194]	0,216 [0,208-0,224]
	Исследования, описанные врачами-экспертами	10491	357 (3,40%)	0,738 [0,711-0,765]	0,272 [0,226-0,271]	0,883 [0,877-0,889]	0,566 [0,514-0,617]	0,894 [0,888-0,900]	0,967 [0,962-0,970]	30,27%	0,205 [0,204-0,206]	0,255 [0,224-0,285]

Таблица 2 — Параметры диагностической точности ИИ-сервисов, полученные в ходе исследования (продолжение)

Сервис	Характер выборки	Всего исследований	Из них с патологией	AUC	F1-мера	Точность	Чувствительность	Специфичность	Точность Отрицательного прогноза	Доля ложноотрицательных ответов сервиса	Коэффициент Каппа-Козна	Коэффициент Метьюса
Сервис 2 вер. 2	Все исследования	162919	5110 (3,14%)	0,708 [0,701-0,715]	0,263 [0,255-0,269]	0,915 [0,914-0,917]	0,479 [0,465-0,492]	0,930 [0,928-0,931]	0,970 [0,968-0,969]	34,28%	0,227 [0,226-0,227]	0,257 [0,248-0,266]
	Исследования, описанные врачами-экспертами	2917	67 (2,30%)	0,777 [0,715-0,839]	0,308 [0,216-0,314]	0,923 [0,913-0,933]	0,612 [0,495-0,729]	0,930 [0,921-0,940]	0,979 [0,971-0,983]	27,96%	0,239 [0,234-0,239]	0,295 [0,228-0,357]
Сервис 2 вер. 3	Все исследования	91429	2698 (2,95%)	0,667 [0,658-0,677]	0,214 [0,207-0,226]	0,914 [0,912-0,916]	0,394 [0,376-0,413]	0,930 [0,928-0,932]	0,969 [0,969-0,972]	37,70%	0,178 [0,177-0,178]	0,202 [0,191-0,210]
	Исследования, описанные врачами-экспертами	3361	121 (3,60%)	0,776 [0,729-0,821]	0,341 [0,280-0,373]	0,919 [0,910-0,929]	0,603 [0,516-0,690]	0,931 [0,922-0,940]	0,968 [0,957-0,970]	27,98%	0,292 [0,290-0,295]	0,334 [0,277-0,391]
Сервис 3 вер. 1	Все исследования	83391	2971 (3,56%)	0,689 [0,679-0,699]	0,172 [0,165-0,177]	0,823 [0,821-0,826]	0,513 [0,495-0,531]	0,835 [0,832-0,837]	0,964 [0,963-0,966]	32,74%	0,119 [0,118-0,119]	0,168 [0,158-0,177]
	Исследования, описанные врачами-экспертами	1918	111 (5,79%)	0,767 [0,719-0,813]	0,229 [0,216-0,285]	0,749 [0,730-0,769]	0,739 [0,657-0,820]	0,750 [0,730-0,770]	0,950 [0,929-0,954]	20,71%	0,171 [0,169-0,173]	0,251 [0,203-0,300]
Сервис 3 вер. 2	Все исследования	170902	5818 (3,40%)	0,660 [0,654-0,667]	0,219 [0,217-0,230]	0,910 [0,908-0,911]	0,381 [0,369-0,394]	0,928 [0,927-0,930]	0,965 [0,965-0,967]	38,22%	0,184 [0,184-0,185]	0,204 [0,196-0,212]
	Исследования, описанные врачами-экспертами	7813	260 (3,33%)	0,775 [0,744-0,805]	0,248 [0,228-0,282]	0,878 [0,871-0,885]	0,635 [0,576-0,693]	0,887 [0,879-0,894]	0,966 [0,963-0,971]	26,76%	0,216 [0,214-0,217]	0,277 [0,246-0,311]
Сервис 3 вер. 3	Все исследования	34119	1000 (2,93%)	0,745 [0,728-0,761]	0,211 [0,188-0,209]	0,861 [0,857-0,864]	0,589 [0,559-0,620]	0,869 [0,865-0,872]	0,970 [0,968-0,972]	29,13%	0,158 [0,157-0,159]	0,219 [0,203-0,235]
	Исследования, описанные врачами-экспертами	1073	31 (2,89%)	0,903 [0,835-0,969]	0,328 [0,212-0,328]	0,883 [0,863-0,902]	0,871 [0,753-0,989]	0,883 [0,863-0,902]	0,971 [0,959-0,981]	11,43%	0,234 [0,228-0,236]	0,339 [0,261-0,410]

Примечание: значения параметров диагностической точности приводятся в таблице в формате: значение (95% доверительный интервал).

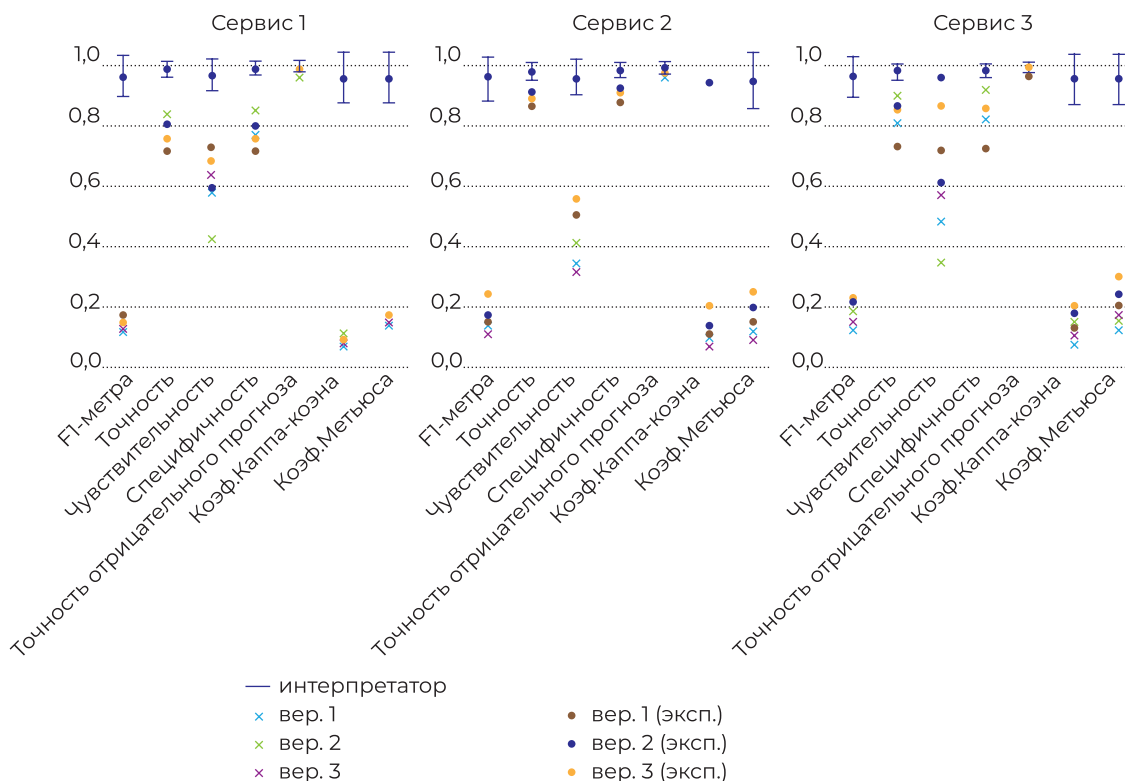


Рисунок 1 — Значения метрик ИИ-сервисов, их отношение к доверительному интервалу интерпретатора врачебных заключений. Версии (эксп.) — значения метрик ИИ-сервисов, полученные на выборках, описанных врачами экспертной группы.

В ошибочных заключениях ИИ-сервисов доля ложноотрицательных результатов ($33,5 \pm 4,3\%$) значительно превышала долю ложноположительных ($11,4 \pm 4,9\%$). Однако с учетом дисбаланса классов абсолютное количество ложноположительных значений было статистически значимо выше количества ложноотрицательных (11653 ± 4847 против 1953 ± 1259 , $p < 0,05$).

По сравнению с общей выборкой врачебных оценок отмечается повышение ряда метрик в экспертной группе, что связано с более полными описаниями и заключениями, и, в частности, описанием минимальных изменений на ФЛГ, которые также определяет ИИ-сервис.

На рис. 1 представлено соотношение полученных диагностических метрик и доверительных интервалов интерпретатора врачебных заключений. Значения всех метрик, за исключением точности отрицательного прогноза, находятся вне доверительных интервалов

интерпретатора, что свидетельствует о достоверности полученных интерпретатором данных. Учитывая вышеописанную работу интерпретатора, также можно говорить и о достоверности полученной точности отрицательного прогноза.

На выборках, описанных врачами экспертной группы, произведена оценка дисбаланс-независимых метрик и доли ложноотрицательных результатов для различных порогов срабатывания с шагом 0,05 (результаты представлены на рис. 2). У большинства сервисов F1-мера и коэффициент Метьюса практически не изменялись при изменении порога срабатывания, за исключением сервиса 3 версии 3. Для него отмечалось небольшое плато в виде нулевого количества ложноотрицательных значений при максимальном значении порога срабатывания, равном 0,05. При этом же пороге доля истинно отрицательных значений составила 46,8% от всех исследований с нормой в обработанной сервисом выборке (рис. 3).

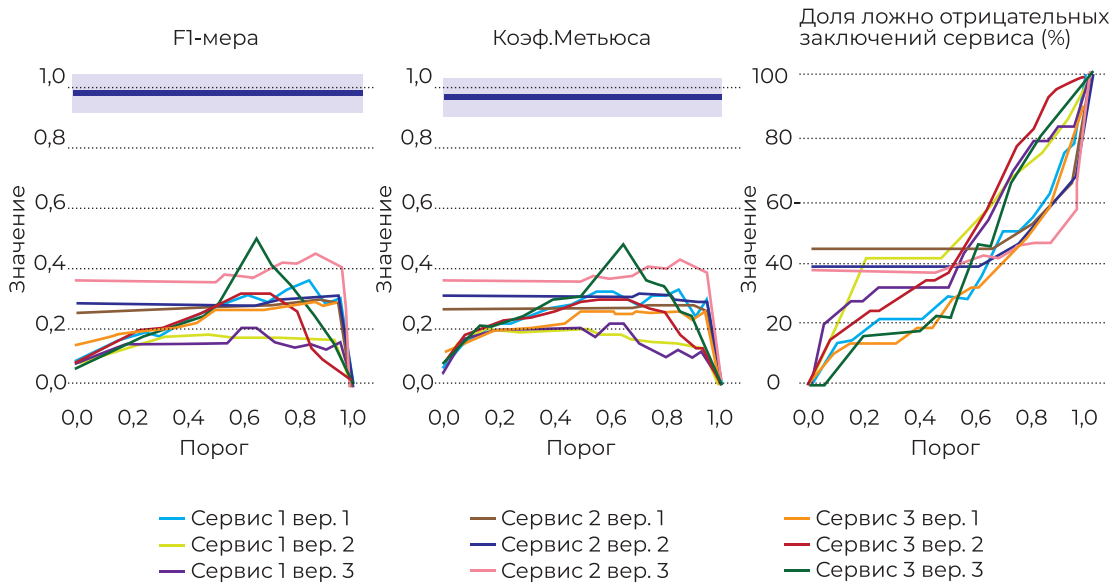


Рисунок 2 — Показатели F1-меры, коэффициента корреляции Метьюса, доли ложноотрицательных заключений в зависимости от порога срабатывания ИИ-сервисов и их отношение к доверительному интервалу интерпретатора (синий цвет).



Рисунок 3 — Показатели ложно отрицательных значений и истинно отрицательных значений для сервиса 3 версии 3.

Оценка разницы в совершаемых сервисами ошибках (ложноотрицательных и ложноположительных заключениях) на общих данных с помощью теста Макнемара представлена в таблице 3. Выявлено, что во всех случаях, кроме одного, при сравнении сервиса 1 версии 1 и сервиса 2 версии 1, ИИ-сервисы совершают различные ошибки на одних и тех же данных.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящем исследовании мы изучили работу трех ИИ-сервисов по направлению ФЛГ, каждый из которых был представлен тремя версиями. Доработка ПО на основе алгоритмов глубокого машинного обучения является важной задачей, цель которой — повышение удобства и качества работы ИИ-сервиса. В процессе доработки решений можно было наблюдать изменение метрик диагностической точности, однако они не всегда являлись оптимальными и сбалансированными.

Дисбаланс классов может оказывать сильное влияние на метрики оценки качества алгоритмов машинного обучения, такие как точность (Accuracy), специфичность и некоторые другие [20], делая акцент на исследованиях без патологии, приближая показатели к 1, что может в конечном итоге привести к ложным выводам. Выбор качественной метрики является серьезной проблемой при оценке алгоритмов классификации при дисбалансе классов в наборе данных, что приводит к разработке и внедрению новых видов оценки [20–23].

В анализируемых данных Эксперимента имеется выраженный дисбаланс по количеству ФЛГ

исследований с патологией и без: доля исследований с патологическими изменениями составляет 3,4%. Это, в свою очередь, не позволяет нам корректно сравнить результаты настоящей работы с результатами, опубликованными в других работах. Только в работе Liz H. и соавторов делается акцент на дисбаланс в наборе данных, при этом количество исследований без патологии равно 47,4% [24].

Также дисбаланс по количеству ФЛГ с патологией и без усложняет возможности классификации, так как алгоритмы в первую очередь обучены на выявление патологических изменений, а при увеличении количества патологий, оцениваемых сервисами, увеличивается количество и изменчивость признаков, которые характерны для данных изменений [24]. Это приводит к высокому количеству ложных заключений, т.к. сервис будет искать патологические признаки там, где их нет. Так, при оценке ИИ-сервисов с помощью теста МакНемара (табл. 3) отмечается, что они совершают различные виды ошибок на одних и тех же данных вероятнее всего из-за различной интерпретации обрабатываемых данных.

Большое количество ложноотрицательных значений может стать существенным препятствием для внедрения данных ИИ-сервисов в медицинскую практику в качестве автономных медицинских изделий. Если ИИ-сервис будет давать околонулевое количество ложноотрицательных значений, то такой сервис можно внедрить в повседневную практику в качестве фильтра, отсекающего «нормальные» ФЛГ и оставляющего для интерпретации врача исследования,

Таблица 3 — Сравнение F1-меры и ошибок, которые совершают ИИ-сервисы на пересекающихся исследованиях

	Сервис 2 вер. 1	Сервис 2 вер. 3	Сервис 3 вер. 2	Сервис 3 вер. 3
Сервис 1 вер. 1	0,28 / 0,33 (450) p = 0,330	–	0,15 / 0,28 (883) p<0,010	–
Сервис 1 вер. 2	–	–	0,15 / 0,27 (958) p<0,010	–
Сервис 1 вер. 3	–	0,18 / 0,39 (1189) p<0,010	–	0,20 / 0,31 (469) p<0,010
Сервис 2 вер. 3	–	–	–	0,34 / 0,27 (556) p<0,010

Примечание: значения представлены в формате F1-мера алгоритма строки / F1 алгоритма столбца (количество общих исследований), p-значение для теста МакНемара.

где предположительно есть патология. Исследования с «нормой» в ложноположительных заключениях ИИ-сервисов будут отсекаются уже врачами. Чем больше доля истинно определенной сервисом нормы, тем меньше будет нагрузка на квалифицированный врачебный персонал при внедрении данного ИИ-сервиса.

Одной из возможных причин ложных заключений ИИ-сервисов является неоптимальный порог срабатывания ИИ-сервиса, но он сильно зависит от внутренней архитектуры ПО, и часть, в которой происходит определение наличия патологии по порогу срабатывания для данных сервисов, нам не известна. Поэтому стоит предполагать, что при определенном изменении порога срабатывания доля ложноотрицательных значений будет уменьшаться, как представлено на рис. 2, что также можно отметить в работах других исследователей [25, 26]. Для версии 3 сервиса 3, следует отметить, что при пороге срабатывания 0,05 правильно определяется 46,8% исследований с нормой, при этом ложноотрицательные оценки отсутствуют. Для остальных сервисов также можно подобрать такой порог срабатывания, при котором доля ложноотрицательных значений будет равна нулю, что позволит рассматривать возможность внедрения данных сервисов в рутинную практику и снизить нагрузку на врачей лучевой диагностики, сконцентрировав их навыки на описании исследований с патологией.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе Московского эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений были продемонстрированы возможности ИИ-сервисов, основанных на алгоритмах глубокого машинного обучения, в качестве ассистентов врачей рентгенологов. Количество ложноотрицательных срабатываний

для ИИ-сервисов при текущих настройках анализируемых продуктов, в том числе связанное с выраженным дисбалансом нормальных и патологических ФЛГ, является препятствием для автономного их внедрения. Были выявлены методы оптимизации ИИ-сервисов. Одним из них является изменение порога срабатывания сервиса, что позволяет в отдельных случаях добиться безошибочного исключения 46,8% исследований с нормой и снизить нагрузку на врачей-рентгенологов почти в два раза. Но данный метод оптимизации сильно органичен ввиду закрытости архитектур алгоритмов глубокого машинного обучения ИИ-сервисов и требует дополнительного изучения.

Тесное сотрудничество разработчиков ИИ-сервисов и конечных потребителей, врачей, а также дальнейшие исследования в области оптимизации, и, возможно, переориентации в методах обучения алгоритмов на более точный поиск нормальных ФЛГ исследований, позволит в дальнейшем автономно использовать ИИ-сервисы в медицинской практике.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках научно-исследовательской работы «Научные методологии устойчивого развития технологий искусственного интеллекта в медицинской диагностике» (№ ЕГИСУ: 123031500004-5) в соответствии с Приказом от 21.12.2022 г. №1196 «Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счет средств бюджета города Москвы государственным бюджетным (автономным) учреждениям подведомственным Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 годов» Департамента здравоохранения города Москвы.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. World Health Organization. Mortality and global health estimates. Available at: <https://www.who.int/data/gho/data/themes/mortality-and-global-health-estimates>. Accessed Mar 28, 2023.
2. Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin.* 2021; 71(3): 209-249. doi: 10.3322/caac.21660.
3. Федеральная служба государственной статистики. Число умерших по основным классам причин смерти. Доступно по: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/demo24-1_2021.xls. Ссылка активна на 28.03.2023. [Federal State Statistics Service. Chislo umershikh po osnovnym klassam

- prichin smerti Available at: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/demo24-1_2021.xls. Accessed Mar 28. 2023. (In Russ.)]
4. Состояние онкологической помощи населению России в 2021 году. / Под ред. Каприна А.Д., Старинского В.В., Шахзадовой А.О. — М.: МНИОИ им. П.А. Герцена, 2022. [Sostoyanie onkologicheskoi pomoshchi naseleniyu Rossii v 2021 godu. Kaprin AD, Starinsky VV, Shakhzadova AO, editors. M.: MNIOI im. P.A. Gertsena; 2022. (In Russ.)]
 5. Синицын В.Е., Тюрин И.Е., Митьков В.В. Временные согласительные методические рекомендации Российского общества рентгенологов и радиологов (РОРР) и Российской ассоциации специалистов ультразвуковой диагностики в медицине (РАСУДМ) «Методы лучевой диагностики пневмонии при новой коронавирусной инфекции COVID-19» (версия 2) // Вестник рентгенологии и радиологии. — 2020. — Т.101. — №2. — С.72-89. [Sinityn VE, Tyurin IE, Mitkov VV. Consensus Guidelines of Russian Society of Radiology (RSR) and Russian Association of Specialists in Ultrasound Diagnostics in Medicine (RASUDM) «Role of Imaging (X-ray, CT and US) in Diagnosis of COVID-19 Pneumonia» (version 2). Journal of radiology and nuclear medicine. 2020; 101(2): 72-89. (In Russ.)] doi: 10.20862/0042-4676-2020-101-2-72-89.
 6. Colman J, Zamfir G, Sheehan F, et al. Chest radiograph characteristics in COVID-19 infection and their association with survival. Eur J Radiol Open. 2021; 8: 100360. doi: 10.1016/j.ejro.2021.100360.
 7. ACR. ACR Recommendations for the use of Chest Radiography and Computed Tomography (CT) for Suspected COVID-19 Infection. Available at: <https://www.acr.org/Advocacy-and-Economics/ACR-Position-Statements/Recommendations-for-Chest-Radiography-and-CT-for-Suspected-COVID19-Infection>. Accessed Mar 28. 2023.
 8. Wong HYF, Lam HYS, Fong AH, et al. Frequency and Distribution of Chest Radiographic Findings in Patients Positive for COVID-19. Radiology. 2020; 296(2): E72-E78. doi: 10.1148/radiol.2020201160.
 9. Морозов С.П., Проценко Д.Н., Сметанина С.В. и др. Лучевая диагностика коронавирусной болезни (COVID-19): организация, методология, интерпретация результатов: методические рекомендации. — М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2020. [Morozov SP, Protsenko DN, Smetanina SV, et al. Luhevaya diagnostika koronavirusnoi bolezni (COVID-19): organizatsiya, metodologiya, interpretatsiya rezul'tatov: metodicheskie rekomendatsii. M.: GBUZ «NPKC DiT DZM»; 2021. (In Russ.)]
 10. Segal B, Rubin DM, Rubin G, Pantanowitz A. Evaluating the Clinical Realism of Synthetic Chest X-Rays Generated Using Progressively Growing GANs. SN Comput Sci. 2021; 2(4): 321. doi: 10.1007/s42979-021-00720-7.
 11. Rahman T, Chowdhury MEH, Khandakar A, et al. Transfer Learning with Deep Convolutional Neural Network (CNN) for Pneumonia Detection Using Chest X-ray. Applied Sciences. 2020; 10(9): 3233. doi: 10.3390/app10093233.
 12. Gazda M, Plavka J, Gazda J, Drotár P. Self-Supervised Deep Convolutional Neural Network for Chest X-Ray Classification. IEEE Access. 2021; 9: 151972-151982. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3125324.
 13. Wu JT, Wong KCL, Gur Y, et al. Comparison of Chest Radiograph Interpretations by Artificial Intelligence Algorithm vs Radiology Residents. JAMA Netw Open. 2020; 3(10): e2022779. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2020.22779.
 14. Arzamasov K, Vasilev Y, Vladzimyrsky A, et al. An International Non-Inferiority Study for the Benchmarking of AI for Routine Radiology Cases: Chest X-ray, Fluorography and Mammography. Healthcare (Basel). 2023; 11(12): 1684. doi: 10.3390/healthcare11121684.
 15. Huang XM, Yang BF, Zheng WL, et al. Cost-effectiveness of artificial intelligence screening for diabetic retinopathy in rural China. BMC Health Serv Res. 2022; 22(1): 260. doi: 10.1186/s12913-022-07655-6.
 16. Романовсков Ю.Ф., Коновалов В.К., Колмогоров В.Г. Заочная консультация рентгенологических исследований в Алтайском крае // Digital Diagnostics. — 2021. — Т.2. — №15. — С.26-27. [Romanovskov YF, Konovalov VK, Kolmogorov VG. Correspondence consultation of X-ray examinations in the Altai Territory. Digital Diagnostics. 2021; 2(15): 26-27. (In Russ.)] doi: 10.17816/DD20211s26.

17. Приказ Департамента здравоохранения города Москвы от 19.02.2020 №142 «Об утверждении Порядка и условий проведения эксперимента на использование инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения города Москвы». Доступно по: https://mosmed.ai/documents/9/Приказ_департамента_здравоохранения_города_Москвы_от_19.02.202015142.pdf_IFf9_slECRah.pdf. Ссылка активна на 28.03.2023. [Order of the Moscow Department of Health №142 of 19 February 2020. «Ob utverzhdanii Poryadka i usloviy provedeniya eksperimenta na ispol'zovaniyu innovatsionnykh tekhnologiy v oblasti komp'yuternogo zreniya dlya analiza meditsinskikh izobrazheniy i dal'neyshego primeneniya v sisteme zdravookhraneniya goroda Moskvy». Available at: https://mosmed.ai/documents/9/Приказ_департамента_здравоохранения_города_Москвы_от_19.02.202015142.pdf_IFf9_slECRah.pdf. Accessed Mar 28, 2023. (In Russ.)]
18. Васильев Ю.А., Владзимирский А.В., Арзамасов К.М., и др. Компьютерное зрение в лучевой диагностике: первый этап Московского эксперимента: Монография. 2-е издание, переработанное и дополненное. — М.: Издательские решения, 2023. [Vasilev YA, Vladzimirskyy AV, Arzamasov KM, et al. Computer vision in radiology: the first stage of the Moscow experiment: Monograph. 2nd edition. M.: Izdatelskie resheniya; 2023. (In Russ.)]
19. Свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022617324. Морозов С.П., Андрейченко А.Е., Четвериков С.Ф., и др. Веб-инструмент для выполнения ROC анализа результатов диагностических тестов: №2022616046/19.04.2022. [Certificate RUS of state registration of a computer program №022617324. Morozov SP, Andreichenko AE, Chetverikov SF, et al. Web-based tool for performing ROC analysis of diagnostic test results: №2022616046/04/19/2022. (In Russ.)]
20. Luque A, Carrasco A, Martín F, Heras A. The impact of class imbalance in classification performance metrics based on the binary confusion matrix. *Pattern Recognition*. 2019; 91: 216-231. doi: 10.1016/j.patcog.2019.02.023.
21. Mortaz E. Imbalance accuracy metric for model selection in multi-class imbalance classification problems. *Knowledge-Based Systems*. 2020; 210: 106490. doi: 10.1016/j.knosys.2020.106490.
22. Sokolova M, Lapalme G. A systematic analysis of performance measures for classification tasks. *Information Processing & Management*. 2009; 45: 427-437. doi: 10.1016/j.ipm.2009.03.002.
23. Chicco D, Warrens MJ, Jurman G. The Matthews Correlation Coefficient (MCC) is More Informative Than Cohen's Kappa and Brier Score in Binary Classification Assessment. *IEEE Access*. 2021; 9: 78368-78381. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3084050.
24. Liz H, Huertas-Tato J, Sánchez-Montañés M, et al. Deep learning for understanding multilabel imbalanced Chest X-ray datasets. *Future Generation Computer Systems*. 2023; 144: 291-306. doi: 10.1016/j.future.2023.03.005.
25. Minaee S, Kafieh R, Sonka M, et al. Deep-COVID: Predicting COVID-19 from chest X-ray images using deep transfer learning. *Med Image Anal*. 2020; 65: 101794. doi: 10.1016/j.media.2020.101794.
26. Bharodiya AK, Atul MG. An Improved Segmentation Algorithm For X-Ray Images Based On Adaptive Thresholding Classification. *International Journal of Scientific & Technology Research*. 2019; 8(9): 1617-1623.

ДЕМКИНА А.Е.,

к.м.н., ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ, г. Москва, Россия, e-mail: ademkina@bk.ru

ЛОВЦЕВА В.А.,

ГБУЗ ВО «Череповецкий городской родильный дом», г. Череповец, Россия, e-mail: lovsevavika@yandex.ru

ДУБРОВИНА К.С.,

ГБУЗ ВО «Череповецкий городской родильный дом», г. Череповец, Россия, e-mail: karishkalet@mail.ru

АСЛАНОВА Т.М.,

ГБУЗ ТО «Городская поликлиника №17», г. Тюмень, Россия, e-mail: Aslanovatarana@mail.ru

РОГОЖКИНА Ю.А.,

ГБУЗ ТО «Городская поликлиника №6», г. Тюмень, Россия, e-mail: yulia.ippolitova@gmail.com

КАРПОВА И.А.,

ГБУЗ ТО «Городская поликлиника №6», г. Тюмень, Россия, e-mail: karpovai.73@mail.ru

ЗИНГЕРМАН Б.В.,

ООО «АйПат», г. Москва, Россия, e-mail: boriszing@gmail.com

БОРОДИН Р.А.,

ООО «ТелеПат», г. Москва, Россия, e-mail: roctbb@gmail.com,

ИСАЕВА А.В.,

ФГБОУ ВО УГМУ Минздрава России, г. Екатеринбург, Россия, e-mail: av_isaeva_cgb20@mail.ru

КОРОБЕЙНИКОВА А.Н.,

к.м.н., КОГКБУЗ «Центр кардиологии и неврологии», г. Киров, Россия, e-mail: anna_best2004@mail.ru

АПРОБАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА У БЕРЕМЕННЫХ ГРУППЫ РИСКА

DOI: 10.25881/18110193_2023_4_66

Аннотация. Цель. Изучить возможности самостоятельного дистанционного мониторинга уровня артериального давления (АД) и частоты сердечных сокращений (ЧСС) у беременных группы риска.

Материал и методы. В исследование по апробации самостоятельного мониторинга АД с использованием платформы MedSenger были включены женщины от 18 до 45 лет с артериальной гипертензией (хронической и гестационной), преэклампсией в анамнезе, высоким уровнем преэклампсии (выше 1:100), индексом массы тела >30 кг/м². Пациентки при помощи домашнего тонометра измеряли ежедневно утром и вечером уровень АД и ЧСС и вносили данные личный кабинет приложения MedSenger в течение 1 месяца. Врач отслеживал параметры беременных, при отклонениях получал уведомления и принимал решение о дальнейшей тактике.

Результаты. В исследование планировалось включить 59 пациенток, но от участия отказались 25 женщин (42,4%). Из 34 беременных (средний возраст 30,1±2,3 года) 5 не активировали программу и были исключены. Всего в исследовании приняло участие 29 человек (49,1% от исходного количества). Основные причины отказа от мониторинга: нет тонометра (30%), нет доверия к технологиям (23,3%), нет электронной почты (16,7%), нет свободного времени (13,3%), без причины (16,7%).

При наблюдении в течение 1 месяца средний уровень систолического АД в исследовании составил 115±3,7 мм.рт.ст., средний уровень диастолического АД—73±2,8 ммрт.ст., средний уровень ЧСС—84±3,5 в минуту.

Из 29 беременных, находящихся на мониторинге, 17 беременных (58,6%), завершили программу мониторинга в установленные сроки. 12 женщин (41,8%) (средний возраст $33,1 \pm 3,1$ года) завершили мониторинг досрочно.

Выводы. Самостоятельный дистанционный мониторинг беременных высокого риска является возможной технологией для осуществления удаленного наблюдения.

Ключевые слова: беременность, высокий риск, артериальная гипертензия, дистанционное наблюдение, телемедицинские технологии.

Для цитирования: Демкина А.Е., Ловцева В.А., Дубровина К.С., Асланова Т.М., Рогожкина Ю.А., Карпова И.А., Зингерман Б.В., Бородин Р.А., Исаева А.В., Коробейникова А.Н. Апробация самостоятельного дистанционного мониторинга у беременных группы риска. *Врач и информационные технологии.* 2023; 4: 66-78. doi: 10.25881/18110193_2023_4_66.

DEMKINA A.E.,

PhD, Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Department of Health of the City of Moscow, Moscow, Russia, e-mail: ademkina@bk.ru

LOVTSEVA V.A.,

Cherepovets City Maternity Hospital, Cherepovets, Russia, e-mail: lovsevavika@yandex.ru

DUBROVINA K.S.,

Cherepovets City Maternity Hospital, Cherepovets, Russia, e-mail: karishkalet@mail.ru

ASLANOVA T.M.,

Tyumen city polyclinic №17, Tyumen, Russia, e-mail: Aslanovatarana@mail.ru

ROGOZHKINA YU.A.,

Tyumen city polyclinic №6, Tyumen, Russia, e-mail: yulia.ippolitova@gmail.com

KARPOVA I.A.,

Tyumen city polyclinic №6, Tyumen, Russia, e-mail: karpovai.73@mail.ru

ZINGERMAN B.V.,

Aipat LLC, Moscow, Russia, e-mail: boriszing@gmail.com

BORODIN R.A.,

TelePat LLC, Moscow, Russia, e-mail: roctbb@gmail.com

ISAEVA A.V.,

Ural State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Ekaterinburg, Russia, e-mail: av_isaeva_cgb20@mail.ru

KOROBAYNIKOVA A.N.,

PhD, Center of Cardiology and Neurology, Kirov, Russia, e-mail: anna_best2004@mail.ru

APPROBATION OF SELF-REMOTE MONITORING IN HIGH-RISK PREGNANT WOMEN

DOI: 10.25881/18110193_2023_4_66

Abstract. *Aim. To study the possibilities of self-remote monitoring of blood pressure and heart rate in high-risk pregnant women.*

Material and methods. Women from 18 to 45 years old with hypertension (chronic and gestational), a history of preeclampsia, a high level of preeclampsia risk (above 1:100), body mass index (BMI) > 30 kg/m² were included in the study to test self-monitoring of blood pressure using the MedSenger platform. The patients used a home tonometer to measure blood pressure and heart rate daily in the morning and evening and entered data into the personal account of the MedSenger application for 1 month. The doctor monitored the parameters of pregnant women, received notifications in case of deviations and decided on further tactics.

Results. We planned to include 59 patients in the study, but 25 women (42.4%) refused to participate. 5 Out of 34 pregnant women (average age 30.1±2.3 years) did not activate the program and were excluded. Finally, 29 women took part in the study (49.1% of the initial number). The main reasons for refusing monitoring: no tonometer (30%), no trust in technology (23.3%), no email adress (16.7%), no free time (13.3%), no reason (16.7%).

The average systolic blood pressure in the study was 115 ± 3.7 mmHg, the average diastolic blood pressure was 73 ± 2.8 mmHg, the average heart rate was 84 ± 3.5 per minute. 17 (58.6%) out of the 29 pregnant women completed the monitoring program on time. 12 women (41.8%) (average age 33.1 ± 3.1 years) completed monitoring ahead of schedule.

Conclusions. Self-remote monitoring of high-risk pregnant women is a feasible technology for remote monitoring.

Keywords: *pregnancy, high risk, arterial hypertension, remote monitoring, telemedicine technologies*

For citation: *Demkina A.E., Lovtseva V.A., Dubrovina K.S., Aslanova T.M., Rogozhkina Yu.A., Karpova I.A., Zingerman B.V., Borodin R.A., Isaeva A.V., Korobeynikova A.N. Approbation of self-remote monitoring in high-risk pregnant women. Medical doctor and information technology. 2023; 4: 66-78. doi: 10.25881/18110193_2023_4_66.*

ВВЕДЕНИЕ

Согласно исследованию Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в 2017 году около 295 000 женщин умерли от осложнений во время беременности и родов [1]. Беременность с высоким риском — это беременность, при которой имеются патологические проблемы или аномальные состояния, скрытые во время беременности и родов, что увеличивает опасность для здоровья матери и ребенка [2, 3]. Гипертензивные нарушения беременности и, в частности, преэклампсия, вносят значительный вклад в развитие осложнений у матери и увеличивают заболеваемость и смертность плода в 5–6 раз [4]. Женщины с артериальной гипертензией (АГ), а также с заболеваниями почек, ранее существовавшим сахарным диабетом и аутоиммунными заболеваниями, считаются подверженными высокому риску развития преэклампсии [5]. Недавнее исследование показало, что частота развития осложнений в популяции высокого риска составляла до 33,8% с сопутствующим высоким уровнем неблагоприятных исходов для плода (задержка внутриутробного развития или преждевременные роды) от 15 до 17% [6]. К долгосрочным последствиям преэклампсии для матери также приравниваются пожизненные повышенные риски АГ, ишемической болезни сердца, почечной недостаточности и инсульта [7–9].

Распространенность АГ у беременных в России колеблется в пределах от 7 до 29% в зависимости от субъектов проживания [10]. Демографические изменения в родовой популяции свидетельствуют о том, что АГ во время беременности может стать еще более актуальной проблемой в связи с увеличением среднего возраста беременных [11]. Например, в США с 1970 г. по 2006 г. увеличилось количество первых родов среди женщин старше 35 лет, параллельно с этим выросла распространенность АГ среди беременных с 1% до 8% [12]. Возраст матери может быть не единственным фактором: популяционное исследование в США предполагает, что распространенность АГ во время беременности увеличилась в период с 1995–96 гг. по 2007–08 гг., несмотря на поправку на возраст матери [13]. Вероятно, этому способствует увеличение других факторов риска АГ, включая ожирение и метаболический синдром [14].

Женщины с повышенным риском развития преэклампсии находятся под более интенсивным наблюдением, чем женщины с неосложненной беременностью. Это приводит к увеличению числа дородовых консультаций и, при необходимости, госпитализаций в дородовое отделение для наблюдения за матерью и будущим ребенком с целью регулирования графика приема лекарств или стимулирования родов. Рандомизированные контролируемые исследования беременных женщин с риском развития гипертензивных расстройств показали, что надлежащее измерение артериального давления (АД) является важным компонентом дородового ухода и профилактики развития осложнений АГ [15].

Уже не вызывает сомнений, что применение технологий дистанционного мониторинга (ДМ) дает многочисленные преимущества как пациентам, так и системе здравоохранения. Последний мета-анализ показал, что использование телемедицинских технологий позволяет оптимизировать процессы принятия решений (30,3% [95% ДИ 21,0–41,0]), улучшает качество медицинской помощи (27,0% [95% ДИ 18,1–37,4]). С точки зрения экономической эффективности, 14 (31,8%) обзоров подтвердили положительное влияние на сокращение общих расходов на финансирование базовых медицинских услуг. Однако пока не существует достоверных научных данных о приверженности к данной технологии среди беременных женщин и их готовности широко ее использовать [16].

Цель. Оценить готовность к проведению самостоятельного ДМ уровня АД и частоты сердечных сокращений (ЧСС) у беременных групп риска.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На базе женской консультации №1 и №2 ГБУЗ ВО «Череповецкий городской родильный дом» (г. Череповец) и ГАУЗ ТО «Городская поликлиника №6» (г. Тюмень) была проведена апробация самостоятельного мониторинга АД беременными с сопутствующей патологией с использованием дистанционных технологий. В исследование включались женщины в возрасте от 18 до 45 лет группы высокого риска, а именно: беременные с существовавшей ранее АГ, осложняющей беременность, роды и послеродовый период (O10.0, O10.1, O10.2, O10.3, O10.4, O10.9); вызванной беременностью АГ без значительной

протеинурии (О13), преэклампсией в анамнезе, а также высоким уровнем преэклампсии по результатам комбинированного пренатального скрининга (выше, чем 1:100), индексом массы тела >30 кг/м² (Е66). Критерии исключения: предполагаемая дата родов ранее планируемой даты окончания программы мониторингования и отказ пациентки от участия в данном исследовании.

Протокол исследования одобрен этическим комитетом ГАУЗ СО «Центральная городская больница №20 г. Екатеринбург» (№3 от 12 августа 2022 года). От всех пациенток получено письменное информированное согласие на участие в исследовании.

Исследование проводилось в 2 этапа (рис. 1):
1 этап:

- отбор пациенток в соответствии с критериями включения и исключения с 15 августа по 15 сентября 2022 года;
- разъяснение протокола исследования, подписание информированного добровольного согласия на участие;

1 этап

Даты набора:	с 15 августа по 15 сентября 2023
Место набора:	<ul style="list-style-type: none"> • Женская консультация ГБУЗ ВО «Череповецкий городской родильный дом» • ГАУЗ ТО «Городская поликлиника №6» (г. Тюмень) • ГАУЗТО «Городская поликлиника №17»
Критерии включения:	беременные женщины от 18 до 45 лет высокого риска
Критерии исключения:	предполагаемая дата родов ранее планируемой даты окончания программы мониторингования и отказ пациентки от участия в данном исследовании
Содержание этапа:	<ul style="list-style-type: none"> • разъяснение протокола исследования, подписание информированного добровольного согласия на участие; • установка пациенткам на цифровом устройстве программного обеспечения для дистанционнодиспансерного мониторинга MedsengerTM. обучение участников исследования работе с мобильным приложением • обучение правилам измерения АД и последовательности действий при ДМ.

- установка пациенткам на цифровом устройстве программного обеспечения для диспансерного ДМ MedsengerTM, обучение участников исследования работе с мобильным приложением;
- обучение правилам измерения АД и последовательности действий при ДМ.

2 этап научной работы заключался в практической реализации исследования. Включенные участники при помощи домашнего тонометра измеряли ежедневно утром и вечером уровни АД и ЧСС с последующим внесением полученных данных в личный кабинет приложения Medsenger. Далее врач на своем цифровом устройстве в программном обеспечении MedsengerTM отслеживал показатели АД и ЧСС. При изменении мониторируемых показателей выше или ниже целевых врач получал электронное уведомление и принимал решение о дальнейшей тактике: наблюдение, плановый или внеплановый контакт с пациенткой.

Длительность ДМ составила 1 месяц.

2 этап

Длительность исследования:	1 месяц
Количество участников:	29 человек
Содержание этапа:	<ul style="list-style-type: none"> • ежедневное измерение артериального давления и частоты сердечных сокращений с помощью домашнего тонометра • внесение показаний в личном кабинете приложения MedSenger • дистанционное наблюдение лечащим врачом, контроль показателей, принятие решения о дальнейшей тактике: наблюдение, плановый или внеплановый контакт с пациенткой
Обработка результатов:	IBM SPSS Statistics 27, jamovi

Рисунок 1 — Дизайн исследования.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью IBM SPSS Statistics 27 и jamovi. Количественные значения представлены в виде средних значений и стандартного отклонения ($M \pm \delta$), качественные — в виде долей в %. При сравнении качественных параметров использовался одновыборочный тест пропорций (биномиальный тест). Статистически значимыми принимались различия при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В исследование планировалось включить 59 пациенток, однако на первом этапе от участия отказались 25 женщин (42,4%). Согласие на участие в исследовании дали 34 беременных, средний возраст $30,1 \pm 2,3$ года (от 20 до 39 лет), однако 5 из них не активировали программу и были исключены. Таким образом, во втором

этапе исследования приняло участие 29 человек (49,1% от исходного количества). Основные причины отказа от мониторинга представлены на рисунке 2.

При наблюдении в течение 1 месяца средний уровень систолического АД в исследовании составил $115 \pm 3,7$ мм рт.ст. (максимально — 160 мм рт.ст.), средний уровень диастолического АД — $73 \pm 2,8$ мм рт.ст. (максимально — 90 мм рт.ст.), средний уровень ЧСС — $84 \pm 3,5$ уд/мин., с максимумом 96 уд/мин. Из 29 беременных, находящихся на мониторинге, 17 беременных (58,6%), средний возраст $29,1 \pm 1,3$, завершили программу мониторинга в установленные сроки. 12 женщин (41,8%), средний возраст $33,1 \pm 3,1$ завершили мониторинг досрочно. Структура диагнозов в разных группах беременных представлена в табл. 1.

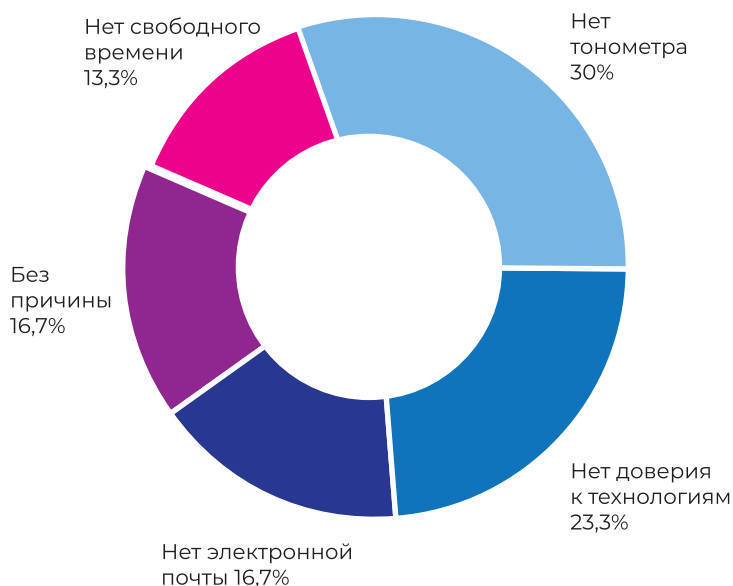


Рисунок 2 — Причины отказа от дистанционного мониторинга артериального давления.

Таблица 1 — Структура диагнозов в разных группах беременных женщин

	O10	O13	E66
Отказались от участия в ДМ (n = 30)	6 (20%)	17 (56,7%)	7 (23,3%)
Не завершили полностью программу (n = 12)	4 (33,3%)	2 (16,7%)	6 (50%)
Завершили мониторинг (n = 17)	3 (17,6%)	10 (58,8%)	4 (23,5%)

Примечание: данные представлены в виде: абс (%). % считался от числа пациенток в данной группе.

Таким образом, среди отказавшихся от мониторинга женщин 76,7% были с АГ (O10+O13) и 23,3% женщин с ожирением ($p = 0,005$), среди не завершивших программу — равное количество женщин с АГ и ожирением ($p = 1$), среди завершивших мониторинг было больше женщин с АГ (76,4%) ($p = 0,049$)

ОБСУЖДЕНИЕ

Основной целью данной работы являлась оценка готовности к проведению самостоятельного ДМ уровня АД и частоты сердечных сокращений у беременных групп риска. В результате исследования была выявлена низкая готовность и мотивация включенных в исследование групп пациенток к ежедневному применению цифровых технологий. Однако в современных литературных источниках найдено большое количество публикаций, которые говорят об эффективности применения цифровых технологий у беременных при контроле АД. Так, в бельгийском исследовании PREMOM I было показано преимущество ДМ для беременных женщин с повышенным риском осложнений [17]. В группе рутинного наблюдения без использования дистанционных технологий статистически значимо чаще встречалась дородовая госпитализация (71,63% против 51,62%), больше случаев дородовой госпитализации до момента родов (57,67% против 31,40%), больше индуцированных запусков процесса родов (32,09% против 43,00%). При многофакторном анализе было выявлено снижение общего числа дородовых посещений в группе ДМ по сравнению с группой стандартного наблюдения (ОШ = -1,76; ДИ = -2,74–0,77). Также было показано, что общее число госпитализаций новорожденных в отделение интенсивной терапии было ниже в группе ДМ, чем в группе стандартного наблюдения [17].

В исследовании PREMOM I также рассматривались экономические выгоды ДМ для беременных женщин. ДМ позволило снизить средние расходы бельгийской национальной системы здравоохранения на 740,39 евро за беременность (14,89%) до 1950,37 евро за беременность (данные за 2015 + 2016 годы). Эта экономия затрат была обусловлена сокращением дородовых посещений, дородовой госпитализации и госпитализации новорожденных в отделение интенсивной терапии [18, 19]. Экономия также

была связана с неонатальным уходом, особенно за новорожденными, родившимися в гестационном возрасте <34 недель. Вывод о том, что основная экономия затрат обусловлена сокращением неонатального ухода, неудивителен, поскольку неонатальный уход особенно интенсивен и является одной из самых дорогих форм стационарного ухода [20]. Связанные с гипертоническими расстройствами неонатальные заболевания включают осложнения недоношенности, а тяжесть недоношенности коррелирует со стоимостью неонатального ухода [21].

Систематический обзор публикаций об использовании методов телемониторинга у пациенток с высоким риском гипертензивных расстройств показал, что использование ДМ у беременных удобно и облегчает доступ данной группы пациентов к медицинским услугам [23]. В частности, британский опыт с платформой “Florence” показал, что очные приемы по поводу гипертензивных расстройств могут быть заменены дистанционным взаимодействием «врач-пациент»: за 12 месяцев с 75 участвующими женщинами было проведено 800 удаленных консультаций, что привело к улучшению ухода и удовлетворенности пациентов. Авторы приходят к выводу, что телемедицина может стать потенциальным решением для улучшения оказания помощи данной группе пациентов с уменьшением нагрузки на врачебный персонал [22]. Другое британское исследование, в котором приняли участие 166 женщин, показало, что в группе с использованием ДМ было значительно меньше амбулаторных посещений на одного пациента (6,5 против 8,0, $p = 0,003$), и эта разница сохранялась при учете различий в продолжительности наблюдения (0,8 против 1,6 посещений в неделю, $p < 0,001$) [24].

В нашей стране есть собственный опыт использования специального приложения для наблюдения за беременными. С 2019 г. в Свердловской области в практику была внедрена автоматизированная информационная система мобильных уведомлений «АИСТ_СМАРТ» для беременных пациенток и врачей. Используя смартфон или планшет, пациентки в личном кабинете получают возможность ведения электронного дневника самоконтроля здоровья, который имеет функции автоматической интерпретации результатов и формирования сигнальной

информации для врача акушера-гинеколога. Внедрение такой системы позволяет выявить осложнения гестационного процесса, связанные с АГ, и своевременно направить пациентку на госпитализацию для предотвращения неблагоприятных событий [25, 26].

По результатам проведенного исследования только 49,1% женщин от запланированного количества в итоге участвовали в исследовании. Основной причиной отказа стало отсутствие тонометра для домашнего измерения АД (30%), на втором месте — низкий уровень доверия технологиям (23,3%), на третьем месте причина технического характера — отсутствие электронной почты (16,7%). Также 16,7% женщин не смогли пояснить причины отказа. Эти результаты свидетельствуют о низкой цифровой грамотности и цифровой готовности среди беременных, даже несмотря на их молодой возраст ($30,1 \pm 2,3$ года).

Низкая приверженность к лечению — это проблема, характерная для российской популяции пациентов с АГ. По данным исследования ЭССЕ-РФ на 2017 г. уровни осведомленности о наличии АГ составляли 76,4% для мужчин и 88,3% для женщин, принимают препараты 41,8% и 65,6%, а достигают целевых значений — 42,9% и 53,7%, соответственно [27].

NCD-RisC (NCD Risk Factor Collaboration) — исследование, опубликованное в 2021 г. и включившее результаты глобального эпидемиологического исследования в 200 странах мира. По этим данным осведомленность о наличии АГ в России составила 67% у мужчин и 80,9% у женщин, доля пациентов, которые получают терапию, — 42,6% и 57% и лишь 14,1% и 21,4%, соответственно, достигают целевых значений [28]. В течение первого года лечения прекращают прием препаратов 50-65% больных АГ [29]. Метаанализ 25 исследований, посвященный описанию приверженности терапии АГ, показал, что низкий комплаенс лечению характеризует 45,2% пациентов, при этом в группе с неконтролируемой АГ этот показатель больше почти в 2 раза — 83,7% [30]. Недостаточной приверженности к терапии АГ способствуют более молодой возраст пациентов, их низкий уровень образования, мужской пол, злоупотребление алкоголем, отсутствие в анамнезе сахарного диабета и серьезных сердечно-сосудистых заболеваний, таких как инфаркт миокарда и инсульт.

На отношение больных к приверженности к терапии влияют недостаточная информированность пациентов в отношении рисков, формирующихся в результате отсутствия качественного контроля АД и безопасности терапии [31]. Есть данные о влиянии социально-экономического статуса на приверженность: метаанализ 168 исследований с 2010 по 2020 гг. показал, что не соблюдают режим приема антигипертензивных препаратов 29–49%, доля таких пациентов была выше в развивающихся странах с более низким уровнем дохода населения [32].

Уровень приверженности терапии остается невысоким и в группе беременных. По данным исследования [33], включившего 100 женщин, у 92% комплаенс терапии был неоптимальным. Основными причинами низкой приверженности названы отсутствие ясности в назначенной схеме лечения и внесение изменений в рекомендуемый режим терапии. Хотя приверженность регулярному домашнему измерению АД в данной группе достаточна высока. В исследовании OPTIMUM-VP исследовалась приверженность самоконтролю АД у беременных: в среднем 77% дней проводились самостоятельные измерения в группе хронической АГ и 85% — в группе гестационной АГ [34]. Данные исследования Митрофановой И.С. наоборот свидетельствуют о высоких показателях приверженности лечению АГ у беременных: 29 из 30 пациенток полностью соблюдали предписанный режим терапии. Однако нельзя не отметить ограничения исследования: в нем приняли участие женщины, проходившие стационарное лечение, и анкетирование проводилось без использования валидированного опросника [35].

Данные Жусуповой Ж.К. и соавт. показывают взаимосвязь между типом АГ и приверженностью к лечению: по результатам опросника Мориски-Грина только 9% женщин с диагнозом хронической АГ были привержены к лечению. Противоположные результаты получены в группе женщин с гестационной АГ — среди них 71% являлись высокоприверженными. Среди причин, объясняющих низкий комплаенс среди беременных женщин, авторы называют низкую эффективность назначаемых препаратов и самостоятельный отказ от проводимой терапии [36].

Помимо низкого уровня цифровой грамотности [37] одним из факторов, влияющих на

приверженность ДМ среди беременных, является уровень тревожности. Бельгийское исследование показало влияние уровня тревоги и депрессии на комплаенс пациентов (использовались опросники PHQ-9 и ECR-R). Женщины со средним уровнем приверженности показали более высокие уровни тревоги и депрессии, тогда как в группах с хорошей и чрезмерной приверженностью таких взаимосвязей найдено не было [38].

Это подтверждают данные исследования, изучавшего эмоциональный статус беременных. При сравнении результатов онлайн-фокус-группы (женщины, которые были госпитализированы во время беременности, и женщины, которые проходили домашний телемониторинг) [39] было показано, что при госпитализации пациентки испытывают страх, скуку, тяжесть от расставания с близкими, тогда как впечатления пациенток на ДМ были более позитивными. В этой группе лишь небольшое количество участников сообщили, что временами испытывали беспокойство дома, в то время как поблизости не было врача или медсестры. Результаты исследований показывают, что телемедицина может обеспечить важные психологические преимущества во время беременности [40]. Когда восприятие женщинами беременности с высоким риском и качество медицинской помощи улучшаются благодаря телемониторингу, это может способствовать повышению качества жизни и снижению дородовой тревожности и ее последствий для матери и ребенка.

Другой важной причиной, влияющей на приверженность к лечению у пациенток, является

возможность возникновения нежелательных явлений и побочных реакций. Кроме того, сам факт приема антигипертензивных препаратов оказывает негативное влияние на качество жизни: до 20% пациенток по этой причине отказываются от терапии [35]. Доступная и понятная информация о заболевании, необходимости следовать предписаниям врача и постоянный контакт с пациенткой называются главными факторами, способствующими повышению мотивации к лечению [41].

Выводы

Использование телемедицинских технологий в медицине является перспективным направлением для осуществления диспансерного наблюдения [42]. Самостоятельный ДМ беременных высокого риска является возможной технологией для осуществления удаленного наблюдения. У обследуемых женщин была выявлена низкая приверженность и доверие к цифровым технологиям. У беременных с существовавшей ранее гипертензией, осложняющей беременность, роды и послеродовой период выявлена самая низкая приверженность к ДМ. Результаты исследования ставят ряд новых вопросов, требующих дальнейшей работы, — изучение цифровой грамотности и доверия беременных группы риска, поиск способов повышения цифрового доверия, грамотности и мотивации данной категории населения.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Trends in Maternal Mortality: 2000 to 2017: Estimates by WHO, UNICEF, UNFPA, World Bank Group and the United Nations Population Division. Geneva: World Health Organization. Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/maternal-mortality>. Accessed May 26, 2023.
2. Eunice Kennedy Shriver National Institute of Child Health and Human Development (NICHD). What Are Some Factors That Make a Pregnancy High Risk? Available at: <https://www.nichd.nih.gov/health/topics/high-risk/conditioninfo/factors#f1/>. Accessed May 26, 2023.
3. Say L, Chou D, Gemmill A, Tunçalp Ö, Moller AB, Daniels J, Gülmezoglu AM, Temmerman M, Alkema L. Global causes of maternal death: a WHO systematic analysis. *Lancet Glob Health*. 2014; 2(6): e323-33. doi: 10.1016/S2214-109X(14)70227-X.
4. Ghulmiyyah L, Sibai B. Maternal mortality from preeclampsia/eclampsia. *Semin Perinatol*. 2012; 36(1): 56-9. doi: 10.1053/j.semperi.2011.09.011.
5. English FA, Kenny LC, McCarthy FP. Risk factors and effective management of preeclampsia. *Integr Blood Press Control*. 2015; 8: 7-12. doi: 10.2147/IBPC.S50641.
6. Shanmugalingam R, Wang X, Motum P, Fulcher I, Lee G, Kumar R, et al. Clinical influence of nonadherence with prophylactic aspirin in preventing preeclampsia in high-risk pregnancies:

- a multicenter, prospective, observational cohort study. *Hypertension*. 2020; 75(4): 1125-32. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.119.14107.
7. Powe CE, Levine RJ, Karumanchi SA. Preeclampsia, a disease of the maternal endothelium: the role of antiangiogenic factors and implications for later cardiovascular disease. *Circulation*. 2011; 123(24): 2856-69. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.853127.
 8. Toohar J, Chiu CL, Yeung K, Lupton SJ, Thornton C, Makris A, et al. High blood pressure during pregnancy is associated with future cardiovascular disease: an observational cohort study. *BMJ Open*. 2013; 3(7): e002964. doi: 10.1136/bmjopen-2013-002964.
 9. Kristensen JH, Basit S, Wohlfahrt J, Damholt MB, Boyd HA. Pre-eclampsia and risk of later kidney disease: nationwide cohort study. *BMJ*. 2019; 365: l1516. doi: 10.1136/bmj.l1516.
 10. Сухих Г.Т., Оганов Р.Г., Ткачева О.Н. и др. Результаты Российского многоцентрового эпидемиологического исследования «Лечебно-диагностическая тактика ведения беременных с артериальной гипертензией в России «Диалог II» // Артериальная гипертензия. — 2010. — Т.16. — №1. — С.45-51. [Sukhikh GT, Oganov RG, Tkacheva ON, et al. Rezul'taty Rossijskogo mnogocentrovogo epidemiologicheskogo issledovaniya «Lechebno-diagnosticheskaya taktika vedeniya beremennyh s arterial'noj gipertoniej v Rossii «Dialog II». *Arterial'naya gipertenziya*. 2010; 16(1): 45-51. (In Russ.)]
 11. Yoder SR, Thornburg LL, Bisognano JD. Hypertension in pregnancy and women of childbearing age. *Am J Med*. 2009; 122: 890-895. doi: 10.1016/j.amjmed.2009.03.036.
 12. Mathews TJ, Hamilton BE. Delayed childbearing: more women are having their first child later in life. *National Center for Health Statistics Data Brief*. 2009; 21.
 13. Bateman BT, Bansil P, Hernandez-Diaz S, Mhyre JM, Callaghan WM, Kuklina EV. Prevalence, trends, and outcomes of chronic hypertension: a nationwide sample of delivery admissions. *Am J Obstet Gynecol*. 2012; 206: 134.e1-8. doi: 10.1016/j.ajog.2011.10.878.
 14. Bramham K, Parnell B, Nelson-Piercy C, Seed PT, Poston L, Chappell LC. Chronic hypertension and pregnancy outcomes: systematic review and meta-analysis. *BMJ*. 2014; 348: g2301. doi: 10.1136/bmj.g2301.
 15. Rath W, Fischer T. The diagnosis and treatment of hypertensive disorders of pregnancy. *Dtsch Arztebl Int*. 2009; 106(45): 733-8. doi: 10.3238/artebI.2009.0733.
 16. Borges do Nascimento IJ, Abdulazeem HM, Vasanthan LT, Martinez EZ, Zucoloto ML, et al. The global effect of digital health technologies on health workers' competencies and health workplace: an umbrella review of systematic reviews and lexical-based and sentence-based meta-analysis. *Lancet Digit Health*. 2023; 5(8): e534-e544. doi: 10.1016/S2589-7500(23)00092-4.
 17. Lanssens D, Vonck S, Storms V, Thijs IM, Grieten L, Gyselaers W. The impact of a remote monitoring program on the prenatal follow-up of women with gestational hypertensive disorders. *J Med Internet Res*. 2018; 223: 72-8. doi: 10.1016/j.ejogrb.2018.02.015.
 18. Lanssens D, Vandenberk T, Smeets C, De Cannière H, Vonck S, Claessens J, et al. Cost- analysis of prenatal remote monitoring of women with gestational hypertensive diseases. *J Med Internet Res*. 2018; 20(3): e102. doi: 10.2196/jmir.9552.
 19. Lanssens D, Vonck S, Vandenberk T, Schraepen C, Storms V, Thijs IM, et al. A prenatal remote monitoring program in pregnancies complicated with gestational hypertensive disorders: what are the contributors to the cost savings? *Telemed J E Health*. 2019; 25(8): 686-92. doi: 10.1089/tmj.2018.0147.
 20. Imershein AW, Turner C, Wells JG, Pearman A. Covering the costs of care in neonatal intensive care units. *Pediatrics*. 1992; 89(1): 56-61.
 21. Pourat N, Martinez AE, Jones JM, Gregory KD, Korst L, Kominski GF. Costs of gestational hypertensive disorders in California: hypertension, preeclampsia, and Eclampsia. Los Angeles: UCLA Center for Health Policy Research; 2013.
 22. Cuevas MAR, Martínez IL, Domínguez EL, Velázquez YH, Isidro SD, et al. Telemonitoring System Oriented towards High-Risk Pregnant Women. *Healthcare*. 2022; 10(12): 2484. doi: 10.3390/healthcare10122484.
 23. Aquino M, Munce S, Griffith J, Pakosh M, Munnery M, et al. Exploring the Use of Telemonitoring for Patients at High Risk for Hypertensive Disorders of Pregnancy in the Antepartum and Postpartum Periods: Scoping Review. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2020; 8(4): e15095. doi: 10.2196/15095.

24. Perry H, Sheehan E, Thilaganathan B, Khalil A. Home blood-pressure monitoring in a hypertensive pregnant population. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2018; 51(4): 524-530. doi: 10.1002/uog.19023.
25. Анкудинов Н.О., Ситников А.Ф., Ситников Ф.А. и др. Дистанционный мониторинг состояния здоровья беременных в группе риска по преэклампсии // *Врач.* — 2022. — Т.33. — №1. — С.49-52. [Ankudinov NO, Sitnikov AF, Sitnikov FA. Distanconnyj monitoring sostoyaniya zdorov'ya beremennyh v gruppe riska po preeklampsii. *Vrach.* 2022; 33(1): 49-52. (In Russ.)] doi:10.29296/25877305-2022-01-07.
26. Анкудинов Н.О., Ситников А.Ф., Ситников Ф.А. Как оптимизировать работу службы родовспоможения с помощью «бережливых» информационных технологий // *Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения.* — 2021. — №7. — №4. — С.58-62. [Ankudinov NO, Sitnikov AF, Sitnikov FA. How to optimize the work in obstetrics with the help of «lean» information technologies. *Russian Journal of Telemedicine and E-Health.* 2021; 7(4): 58-62. (In Russ.)] doi: 10.29188/2712-9217-2021-7-4-58-62.
27. Концевая А. В., Шальнова С. А., Драпкина О. М. Исследование ЭССЕ-РФ: эпидемиология и укрепление общественного здоровья // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика.* — 2021. — Т.20. — №5. — С.225-232. [Kontsevaya AV, Shalnova SA, Drapkina OM. ESSERF study: epidemiology and public health promotion. *Cardiovascular Therapy and Prevention.* 2021; 20(5): 225-232. (In Russ.)] doi:10.15829/1728- 8800-2021-2987.
28. Zhou B, Carrillo-Larco RM, Danaei G, et al. NCD Risk Factor Collaboration (NCD-RisC). Worldwide trends in hypertension prevalence and progress in treatment and control from 1990 to 2019: a pooled analysis of 1201 population-representative studies with 104 million participants. *Lancet.* 2021; 398(10304): 957-80. doi: 10.1016/S0140-6736(21) 01330-1.
29. Burnier M, Egan BM. Adherence in Hypertension. *Circ Res.* 2019; 124(7): 1124-40. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.118.313220.
30. Abegaz TM, Shehab A, Gebreyohannes EA, et al. Nonadherence to antihypertensive drugs: A systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore).* 2017; 96(4): e5641. doi: 10.1097/MD.0000000000005641.
31. Шальнова С.А., Конради А.О., Баланова Ю.А. и др. Какие факторы влияют на контроль артериальной гипертензии в России // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика.* — 2018. — Т.17. — №4. — С.53-60. [Shalnova SA, Konradi AO, Balanova YuA, et al. What factors do influence arterial hypertension control in Russia. *Cardiovascular Therapy and Prevention.* 2018; 17(4): 53-60. (In Russ.)] doi: 10.15829/1728-8800-2018-4-53-60.
32. Lee EKP, Poon P, Yip BHK, et al. Global Burden, Regional Differences, Trends, and Health Consequences of Medication Nonadherence for Hypertension During 2010 to 2020: A MetaAnalysis Involving 27 Million Patients. *J Am Heart Assoc.* 2022; 11(17): e026582. doi: 10.1161/JAHA.122.026582.
33. Helou A, Stewart K, George J. Adherence to anti-hypertensive medication in pregnancy. *Pregnancy Hypertens.* 2021; 25: 230-234. doi: 10.1016/j.preghy.2021.06.002.
34. Bowen L, Pealing L, Tucker K, McManus RJ, Chappell LC. Adherence with blood pressure self-monitoring in women with pregnancy hypertension, and comparisons to clinic readings: A secondary analysis of OPTIMUM-BP. *Pregnancy Hypertens.* 2021; 25: 68-74. doi: 10.1016/j.preghy.2021.05.016.
35. Митрофанова И.С., Столбова М.В., Шарапов С.В. Морина А.А. Приверженность к лечению беременных женщин с артериальной гипертензией // *Национальная ассоциация ученых.* — 2015. — Т.4. — №9. — С.9-81. [Mitrofanova IS, Stolbova MV, Sharapov SV, Morina AA. The compliance of pregnant women with arterial hypertension. *Nacional'naya associaciya uchenyh.* 2015; 4(9): 9-81. (In Russ.)]
36. Жусупова Ж.К., Зейналова Д.Э., Крюкова А.Ю. Ключевая детерминанта приверженности к лечению артериальной гипертензии у беременных женщин как профилактика акушерских осложнений // *Вестник совета молодых ученых и специалистов Челябинской области.* — 2020. — Т.1. — №28. — С.17-21. [Zhusupova ZhK, Zejnalova DE, Kryukova AYU. Main determinants of addition to treatment of arterial hypertension in pregnant women as prevention of ancient complications. *Vestnik soveta molodyh uchyonyh i specialistov Chelyabinskoy oblasti.* 2020; 1(28): 17-21. (In Russ.)]

37. Шадеркин И.А. Барьеры телемедицины и пути их преодоления // Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения. — 2022. — Т.8. — №2. — С.59-76. [Shaderkin IA. Telemedicine barriers and ways to overcome them. Russian Journal of Telemedicine and E-Health. 2022; 8(2): 59-76. (In Russ.)] doi: 10.29188/2712-9217-2022-8-2-59-76.
38. Vandenberk T, Lanssens D, Storms V, Thijs IM, Bamelis L, Grieten L, Gyselaers W, Tang E, Luyten P. Relationship between adherence to remote monitoring and patient characteristics: observational study in women with pregnancy-induced hypertension. JMIR MhealthUhealth. 2019; 7(8): e12574. doi: 10.2196/12574.
39. van den Heuvel JFM, Teunis CJ, Franx A, Crombag NMTH, Bekker MN. Home-based telemonitoring versus hospital admission in high risk pregnancies: a qualitative study on women's experiences. BMC Pregnancy Childbirth. 2020; 20(1): 77. doi: 10.1186/s12884-020-2779-4.
40. Kerner RYY, Belkin A, Ben-Haroush A, Zeevi B, Hod M. Maternal self-administered fetal heart rate monitoring and transmission from home in high-risk pregnancies. Int J Gynecol Obstet. 2004; 84(1): 33-9. doi: 10.1016/s0020-7292(03)00331-x.
41. Бабаева А.Д. Взаимообусловленность показателей качества жизни и приверженности к лечению и профилактике артериальной гипертензии среди женщин репродуктивного возраста // Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник української медичної стоматологічної академії. — 2016. — №3(55). — С.33-37. [Babaeva AD. Vzaimoobuslovlennost' pokazatelej kachestva zhizni i priverzhennosti k lecheniyu i profilaktike arterial'noj gipertonii sredi zhenshchin reproduktivnogo vozrasta. Aktual'ni problemi suchasnoї medicini: Visnik ukraїns'koї medichnoї stomatologichnoї akademії. 2016; 3(55): 33-37. (In Russ.)]
42. Дорофеева Е.Г., Виноградов В.Е., Бердинский В.А. Применение телемедицинских технологий в наблюдении и поддержке пациентов нефрологического профиля // Digital Diagnostics. — 2022. — Т.3. — №S1. — С.25-26. [Dorofeeva EG, Vinogradov VE, Berdinskiy VA. The use of telemedicine technologies in monitoring and supporting of nephrological patients. Digital Diagnostics. 2022; 3(S1): 25-26. (In Russ.)] doi: 10.17816/DD105745.

