



DOI: 10.22363/2312-8631-2025-22-4-417-434

EDN: EYLDLK

УДК 378.4

Научная статья / Research article

Перспективы использования модели искусственного интеллекта в качестве образовательной платформы для обучения микробиологов

П.Н. Филиппов¹, А.Г. Комаров¹, К.М. Лобастов²,
Р.А. Хакимов², В.В. Шевцов³, Н.А. Усова³✉

¹ Московский научно-практический центр лабораторных исследований, Департамент здравоохранения г. Москвы, Москва, Российская Федерация

² ООО «ТРЕТИС», Москва, Российская Федерация

³ Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация
✉ usova_na@pfur.ru

Аннотация. Постановка проблемы. Технология искусственного интеллекта (ИИ) обладает широким потенциалом в различных областях медицины, в том числе и в микробиологии. Однако в настоящее время ИИ и образовательные платформы с его использованием применяются недостаточно. Актуальным является решение проблемы оптимизации существующих методов подготовки микробиологов в вузе при помощи ИИ, чтобы сделать процесс обучения студентов более эффективным, персонализированным и глубоким. Методология. Проанализированы российские и зарубежные исследования, посвященные применению ИИ в медицине и в медицинском образовании, проведено моделирование подходов к подготовке микробиологов – качественного проведения лабораторных исследований, основанных на использовании ИИ. Авторы применяли передовые методы машинного обучения, включая алгоритмы сегментации и кластеризации для обработки изображений микробиологических образцов. Результаты. Разработан и внедрен учебный курс «Применение искусственного интеллекта в микробиологической практике» для слушателей программ ДПО и студентов – будущих микробиологов с целью вооружить их знаниями и практическими умениями по интеграции описываемой технологии в процесс анализа микробиологических образцов. Предложены теоретические и практические подходы к проведению занятия в лаборатории, приемы подготовки образцов и создания масок с помощью ИИ. Внедрение учебного курса показало высокую готовность обучающихся к работе с ИИ, актуальность предложенных образовательных материалов и возможность их применения на практике в широком спектре лабораторных исследований. Заключение. Разработанный и описанный учебный курс для подготовки слушателей системы ДПО и студентов – будущих микробиологов – перспективная основа для обучения в рамках качественного изменения практических исследований в микробиологических лабораториях, проводимых с использованием ИИ.

© Филиппов П.Н., Комаров А.Г., Лобастов К.М., Хакимов Р.А., Шевцов В.В., Усова Н.А., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Ключевые слова: высшее образование, искусственный интеллект, информационные технологии в микробиологии, учебный курс

Вклад авторов. П.Н. Филиппов – концепция и дизайн исследования, анализ полученных данных, написание текста. В.В. Шевцов – разработка программного обеспечения, реализация компьютерного кода и вспомогательных алгоритмов, тестирование существующих компонентов кода, написание текста. А.Г. Комаров – предоставление ресурсов (лабораторных образцов, приборов и др.). Р.А. Хакимов – администрирование и визуализация данных. Н.А. Усова – написание рукописи, ее редактирование. К.М. Лобастов – надзор и руководство за планированием и выполнением исследования. Все авторы прочли и одобрили окончательную версию рукописи.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена за счет средств гранта Правительства Москвы № 0703-1/23.

История статьи: поступила в редакцию 31 ноября 2024 г.; доработана после рецензирования 10 декабря 2024 г.; принята к публикации 12 марта 2025 г.

Для цитирования: Филиппов П.Н., Комаров А.Г., Лобастов К.М., Хакимов Р.А., Шевцов В.В., Усова Н.А. Перспективы использования модели искусственного интеллекта в качестве образовательной платформы для обучения микробиологов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. 2025. Т. 22. № 4. С. 417–434. <http://doi.org/10.22363/2312-8631-2025-22-4-417-434>

Prospects for using an artificial intelligence model as an educational platform for training microbiologists

Pavel N. Filippov¹, Andrey G. Komarov¹,
Konstantin M. Lobastov², Rustam A. Khakimov²,
Vasiliy V. Shevtsov³, Natalia A. Usova³

¹ Moscow Scientific and Practical Center for Laboratory Research, Moscow Department of Health, Moscow, Russian Federation

² TRETIS LLC, Moscow, Russian Federation

³ RUDN University, Moscow, Russian Federation

 usova_na@pfur.ru

Abstract. *Problem statement.* Artificial intelligence (AI) has great potential in various fields of medicine, including microbiology, but AI and educational platforms using AI are not yet sufficiently used in professional training. The research problem is relevant optimized the existing methods of training microbiologists at a university using AI models to make the student learning process more efficient, personalized and profound. *Methodology.* Russian and foreign studies on the use of AI in medicine and medical education were analyzed, approaches to training microbiologists to conduct high-quality laboratory research based on the use of AI as an educational platform were modeled. The authors applied advanced machine learning methods, including segmentation clustering algorithms for processing images of microbiological samples. *Results.* A training course has been developed and implemented Application of Artificial

Intelligence in Microbiological Practice for students of additional professional education programs and students – future microbiologists, in order to equip them with knowledge and practical skills in integrating AI computing technologies into the process of analyzing microbiological samples. Theoretical and practical classes in the laboratory, an approach to sample preparation and mask creation using AI are offered. The implementation of the training course showed a high level of student' readiness to work with AI, the relevance of the proposed educational materials and the possibility of practical application in a wide range of laboratory studies. *Conclusion.* The training course for students of additional professional education and students – future microbiologists developed and described in the article is a promising basis for training for a qualitative change in practical research in microbiological laboratories using AI.

Keywords: higher education, artificial intelligence, information technology in microbiology, training course

Authors' contribution. Pavel N. Filippov – conceptualization and design, formal analysis, writing. Vasiliy V. Shevtsov – implementation of computer code and auxiliary algorithms, testing of existing code components, writing. Andrey G. Komarov – laboratory samples, devices. Rustam A. Khakimov – project administration, visualization. Natalia A. Usova – manuscript writing and editing. Konstantin M. Lobastov – supervision and management of study planning and implementation. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Founding. This work was supported by Moscow Government Grant No. 0703-1/23.

Article history: received 31 November 2024; revised 10 December 2024; accepted 12 March 2025.

For citation: Filippov PN, Komarov AG, Lobastov KM, Khakimov RA, Shevtsov VV, Usova NA. Prospects for using an artificial intelligence model as an educational platform for training microbiologists. *RUDN Journal of Informatization in Education.* 2025;22(4):417–434. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2312-8631-2025-22-4-417-434>

Постановка проблемы. В контексте современной микробиологии актуальность и значимость применения авангардных технологических подходов, в частности алгоритмов ИИ и машинного обучения, представляют важный научный и практический интерес. Микробиология по своей сути – фундаментальная медицинская наука, требующая глубоких теоретических знаний и практических навыков. Изучение и использование микроорганизмов применяется во многих областях: биологии, иммунологии, экологии, генетике, медицине, ветеринарии, сельском хозяйстве и в большинстве других направлений, связанных с ними.

Вопросам разработки и внедрения технологий ИИ в медицину, а также в процесс обучения студентов медицинским специальностям посвящено немалое количество научных статей и исследований. Если ввести запрос в электронной библиотеке eLibrary «использование искусственного интеллекта в медицине» за 2023–2026 гг., выбрав научные статьи и диссертации, будет найдено более 10 500 публикаций на разных языках.

Обратимся к некоторым статьям и выделим их ключевые аспекты.

В статье А.О. Маннникова и Л.В. Гаева ИИ определяется как комплекс технических и программных решений, способных обрабатывать большие

данные и достигать результатов, сопоставимых или превосходящих человеческую интеллектуальную деятельность. Применение ИИ в медицине позволяет врачам ставить более точные диагнозы и выявлять заболевания на ранних стадиях, анализируя рентгенологические, патологические, эндоскопические, ультразвуковые и биохимические данные. Сочетание ИИ с медициной вывело на новый уровень производство медицинских препаратов и медицинское образование. Основные области применения ИИ включают онкологию, пульмонологию, ортопедию, сердечно-сосудистую медицину и неврологию. В целом ИИ обеспечивает высокую точность диагностики болезней и успешное проведение сложных операций [1].

В статье Я.В. Соусова и др. рассмотрено внедрение ИИ в практическое здравоохранение, акцентировано внимание на кардиологии, гастроэнтерологии и вспомогательных репродуктивных технологиях (ВРТ). ИИ облегчает выявление закономерностей и построение прогностических моделей за счет обработки больших объемов клинических и лабораторно-инструментальных данных, повышая точность диагностики. Представленные клинические случаи демонстрируют преимущества ИИ, в частности при отборе эмбрионов с использованием покадровых систем и алгоритма KIDSscore в программах ВРТ. Применение ИИ улучшает качество здравоохранения, оптимизирует лечение и сокращает время на проведение операций [2].

В статье Р.А. Гильманова и И.В. Ахметова рассматриваются основные проблемы доступа и верификации медицинских данных для обучения ИИ-моделей. Главные сложности включают правомерное использование персональных данных, соблюдение конфиденциальности и разрозненность данных между различными медицинскими информационными системами. Отмечается, что многие данные до сих пор не переведены в цифровой вид или представлены в неструктурированном формате, отсутствует единый универсальный стандарт их передачи [3].

Статья Т.М. Байтурганова и др. анализирует возможности применения ИИ в казахстанской онлайн-системе Saubol, ориентированной на превентивную медицину. Система Saubol направлена на повышение уровня общественного здоровья путем раннего выявления и предотвращения заболеваний. Она использует алгоритмы ИИ для анализа медицинских данных и идентификации факторов риска, предоставляя персонализированные рекомендации. Система включает такие компоненты, как SaubolLab для анализов, калькулятор индекса массы тела и электронную медицинскую карту, обеспечивая глубокий анализ данных пациента. Это позволяет улучшить доступ к квалифицированной медицинской помощи и способствует осознанному управлению своим здоровьем [4].

На этом фоне уже существует задел в области использования аналогичных технологий при подготовке будущих и практикующих врачей. В частности, статья Т.Г. Авачевой и др. анализирует текущее состояние обучения технологий искусственного интеллекта в высшем медицинском образовании, отмечая высокий интерес студентов при ограниченном числе формальных

курсов. Предлагается многоэтапная модель подготовки, включающая базовое ознакомление на младших курсах и специализированные факультативы на старших. Модель также предусматривает углубленное обучение в ординатуре и непрерывное профессиональное развитие для практикующих врачей. Особое внимание уделяется связи между обучением ИИ и задачами персонализированной медицины, подчеркивая важность развития цифровых компетенций. Реализация этой модели призвана модернизировать медицинское образование и подготовить специалистов, готовых эффективно использовать ИИ в клинической практике [5].

В статье А.А. Худика исследуется влияние искусственного интеллекта на оптимизацию учебного процесса в медицинских вузах, что делает такой процесс более персонализированным, эффективным и интерактивным. ИИ способствует адаптивному обучению, подстраивая содержание и темп под индивидуальные потребности каждого студента, помогает преподавателям управлять большими группами и автоматизировать оценку заданий. Создание виртуальных симуляторов позволяет студентам отрабатывать клинические навыки в безопасной и реалистичной среде без риска для реальных пациентов. Кроме того, ИИ играет важную роль в анализе больших данных, помогая студентам изучать редкие заболевания и совершенствовать диагностические навыки. Автоматизация административных процессов ИИ, таких как планирование занятий и контроль посещаемости, освобождает персонал для сосредоточения на образовательных аспектах [6].

В рамках описываемого исследования был проведен обзор, в том числе и зарубежных публикаций, сосредоточенных на применении новейших информационных технологий в области микробиологии.

Редакционная статья, опубликованная во *Frontiers in Microbiology*, представляет исследовательскую тему по антимикробной резистентности (AMP), подчеркивает необходимость мультидисциплинарного подхода. Исследование охватывает различные области, включая разработку новых антимикробных средств, совершенствование диагностических инструментов и понимание механизмов AMP, здесь также обсуждаются улучшенный эпидемиологический надзор и роль мобильных генетических элементов в распространении резистентности. В целом статья служит обзором последних достижений и будущих направлений в борьбе с AMP [7].

Редакционная статья «2030: Нужен ли нам еще наш микробиолог?» предсказывает значительную трансформацию клинической микробиологии к 2030 г. благодаря автоматизации, роботизации и ИИ, что приведет к сокращению участия человека в диагностике. В ней освещаются такие достижения, как Mass Spectrometry (MS), MALDI-TOF (Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization Time-of-Flight), NGS (Next-Generation Sequencing) и ИИ-усовершенствованный анализ изображений для идентификации и тестирования антимикробной чувствительности. Затрагиваются также важные вопросы об ответственности человека в процессах, управляемых ИИ, подчеркивается, что ИИ должен дополнять, а не заменять роль микробиолога [8].

Обзор, посвященный современному состоянию автоматизации лабораторных исследований в лаборатории клинической микробиологии, подробно описывает текущее состояние полной автоматизации лабораторий в клинической микробиологии, включая аппаратное и программное обеспечение, влияние на рабочие процессы. Он подчеркивает значительные преимущества полной автоматизации лабораторий, такие как повышение стандартизации, эффективности и безопасности на рабочем месте, потенциальное снижение долгосрочных затрат. Признаются следующие проблемы: значительные первоначальные инвестиции и необходимость переоценки рабочих процессов. Делается следующее заключение: хотя полная автоматизация меняет лабораторию, опыт клинической микробиологии останется критически важным [9].

В статье «Развивающиеся приложения искусственного интеллекта и машинного обучения в тестировании инфекционных заболеваний» исследуется преобразующая роль ИИ и машинного обучения (МО) в тестировании инфекционных заболеваний, делается акцент на способности интегрировать различные потоки данных («слияние данных»). Подробно описывается применение МО в лабораторной диагностике (COVID-19, тестирование чувствительности к антибиотикам, малярия) и клиническом прогнозировании (сепсис, гепатит). Концепция «слияния данных», объединяющая результаты лабораторных исследований, показатели жизнедеятельности и данные носимых устройств, представлена как ключевое будущее направление [10].

Зишан Асхан провел всестороннее исследование литературы по базам данных PubMed, Scopus, Web of Science и Google Scholar, охватывающее публикации с января 2000 г. по март 2024 г. Стратегия поиска использовала различные комбинации ключевых слов, включая «искусственный интеллект», «машинное обучение», «ИИ», «медицинское образование», «учебный план», «преподавание», «оценка». Полученные результаты позволили синтезировать подходы к интеграции ИИ в медицинское образование на всех уровнях – от бакалавриата до непрерывного профессионального развития медицинских работников. В статье освещаются многочисленные варианты применения ИИ: поддержка диагностики, совершенствование учебных планов и методов оценки, автоматизация административных задач. Выявлены ключевые барьеры для широкого внедрения, в том числе этические дилеммы, отсутствие валидированных учебных программ и инфраструктурные ограничения. Для устойчивого внедрения предлагается поэтапный, ориентированный на студента подход, а также развитие структурированных учебных программ и этически обоснованных практик [11].

На основании данных приведенных статей можно выделить основные области использования ИИ в медицине [12–15]. В их числе хирургия, терапия, диагностика заболеваний и удаленный мониторинг пациентов, уход за пациентами, управление здравоохранением, оценка рисков и прогнозирование, обучение и подготовка кадров, медицинская визуализация, круглосуточная медицинская помощь с чат-ботами и виртуальными помощниками, психологическая помощь, мониторинг и разработка новых лекарств, анализ причин заболеваний, оценка эффективности медицинского оборудования.

Столь масштабное внедрение технологий ИИ в медицину невозможно без комплексной подготовки специалистов как на уровне получения базового образования (специалитет), так и на уровне программ повышения квалификации ранее дипломированных специалистов. Использование новых методик в процессах, от которых зависит здоровье людей, требует тщательной апробации образовательных методик и алгоритмов ИИ для обучения и практических занятий в лабораториях.

Актуальность исследования состоит в том, что благодаря разработке и внедрению систем ИИ в образовательную платформу будущие и практикующие микробиологи смогли увидеть, как эффективно используется ИИ для автоматизированного подсчета колоний микроорганизмов и детектирования их антибиотикорезистентности на основе обработки цифровых изображений.

Основная цель – внедрение этих моделей в образовательный процесс на базе медицинских и исследовательских лабораторий в удобной для будущих и действующих микробиологов форме, а также возможности для интеграции с информационными системами образовательных и медицинских учреждений. Онлайн-платформа может позволить сократить временные и ресурсные затраты на обработку данных, а также повысить эффективность и качество исследований.

В настоящий момент необходимые испытания проходят на базе Московского научно-практического центра лабораторных исследований Департамента здравоохранения г. Москвы (МНЦПЛИ). Цель испытаний – автоматизация процесса сбора изображений чашек Петри и соответствующее увеличение объема обучающего материала для ИИ.

Знакомство с ИИ будущие микробиологи могут получить в рамках предмета «Медицинская информатика» (на 1–2 курсах вузов). В рамках данной учебной дисциплины изучаются основы информатики в здравоохранении, базы знаний и примеры ИИ в диагностике заболеваний. В основном обучение сводится к обзору понятий и примерам. Вузами или системами ДПО могут проводиться отдельные семинары или мастер-классы о возможностях применения ИИ в клинической диагностике или создании новых вакцин. Какой-то единой непрерывной модели обучения применения ИИ для будущих микробиологов пока нет.

Поэтому возникает *проблема оптимизации существующих методов подготовки микробиологов в вузе с помощью ИИ*, что позволяет сделать процесс обучения студентов более эффективным, персонализированным и глубоким.

Методология. В качестве инструмента для разработки образовательного курса, создания тестовых заданий, видео- и аудиофрагментов, подключения компонентов ИИ и средств анализа данных и обучения в учебном курсе использовалась российская образовательная платформа iSpring¹. В конструкторе iSpring содержатся разные дополнительные приложения и шаблоны, а сам

¹ Надежная платформа для корпоративного онлайн-обучения // Образовательная платформа iSpring.URL: www.ispring.ru (дата обращения: 01.11.2024).

теоретический материал для лекций можно собирать в PowerPoint. После установки конструктора в это приложение добавляется новая вкладка с предустановленными дополнительными инструментами.

Для решения проблемы исследования была осуществлена разработка учебного курса по использованию ИИ в микробиологической практике, позволяющей подготовить слушателей ДПО и студентов-микробиологов.

В исследовании применялись передовые методы машинного обучения, включая алгоритмы сегментации кластеризации для обработки изображений микробиологических образцов. Разработана модель ИИ, способная эффективно анализировать, классифицировать различные виды микроорганизмов на основе цифровых изображений.

Основная новизна – внедрение в образовательный процесс методов ИИ применительно к процессам микробиологического анализа, что позволило значительно повысить эффективность и точность исследований. Разработанная методология способна значительно ускорить процесс диагностики в медицинских и исследовательских лабораториях, а также повысить точность выявления антибиотикорезистентности.

Рекомендуется внедрение разработанных методов и технологий в лабораторную практику студентов микробиологов для оптимизации и ускорения процессов микробиологического анализа. При этом важно дообучать модель с использованием новых размеченных данных, увеличивая ее эффективность. Это позволит значительно повысить качество исследований и улучшить эффективность микробиологической диагностики.

Результаты и обсуждение. Как уже отмечалось, был разработан и внедрен учебный курс «Применение искусственного интеллекта в микробиологической практике» для слушателей программ ДПО и студентов – будущих микробиологов с целью вооружить их знаниями и практическими навыками по интеграции вычислительных технологий ИИ в процесс анализа микробиологических образцов. Особое вниманиеделено автоматизированному подсчету колоний микроорганизмов и детектированию их антибиотикорезистентности на основе обработки цифровых изображений.

Курс охватывает весь цикл работы с ИИ в микробиологии – от получения высококачественных изображений и их разметки до обучения и валидации моделей ИИ, а также интерпретации полученных результатов и их интеграции в повседневную лабораторную практику. Цель курса – подготовка специалистов, способных не только использовать существующие ИИ-системы, но и активно участвовать в их разработке, адаптации и совершенствовании, повышая эффективность, точность и доступность микробиологических исследований.

Содержание обучения. Программа обучения скомпонована из разделов, каждый из которых посвящен определенному аспекту применения ИИ в микробиологии.

При изучении раздела «Основы цифровой микробиологии и искусственного интеллекта» студенты получат возможность познакомиться с цифровой микробиологией, узнают об ее актуальных проблемах, решаемых с помощью

ИИ (антибиотикорезистентность, ускорение диагностики). Проанализируют основные определения ИИ и машинного обучения, основные принципы работы нейронных сетей, рассмотрят примеры успешного внедрения ИИ в различные области медицины (диагностика, разработка лекарств, хирургия, превентивная медицина, лабораторная микробиология).

В разделе «Методология получения и первичной обработки изображений микробиологических образцов» проводится знакомство с оборудованием для получения изображений, обзор технических средств (камеры, осветительные приборы, фотобоксы). Рассматриваются различные типы конструкций для fotosъемки (закрытого и открытого типа) (рис. 1, 2), требования к качеству изображений: разрешение (не менее 12 Мп), соотношение сторон (1:1 или 2:1 в зависимости от задачи), угол съемки (90°), отсутствие бликов, шумов и размытия (рис. 3).

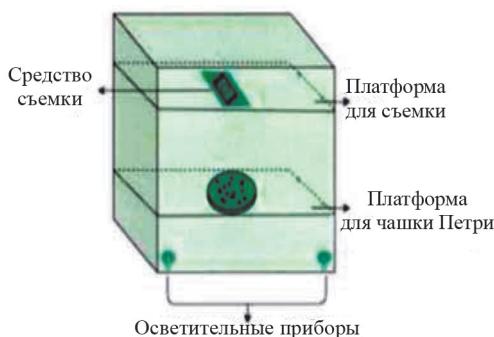


Рис. 1. Конструкция закрытого типа

Источник: создано П.Н. Филипповым, А.Г. Комаровым, В.В. Шевцовым.

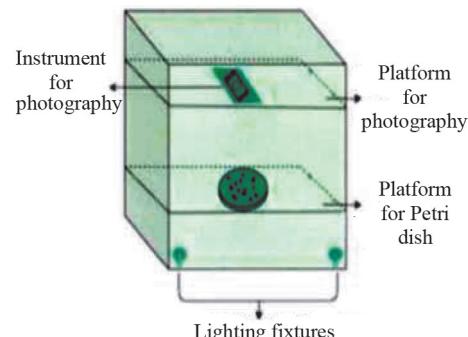


Figure 1. Closed type design

Source: created by Pavel N. Filippov, Andrey G. Komarov, Vasiliy V. Shevtsov.

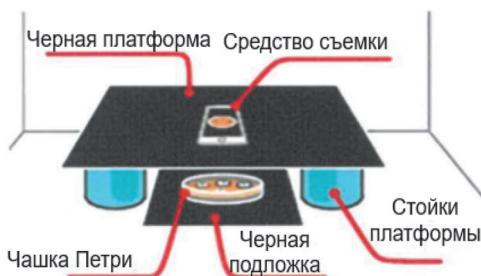


Рис. 2. Конструкция открытого типа

Источник: создано П.Н. Филипповым, А.Г. Комаровым, В.В. Шевцовым.

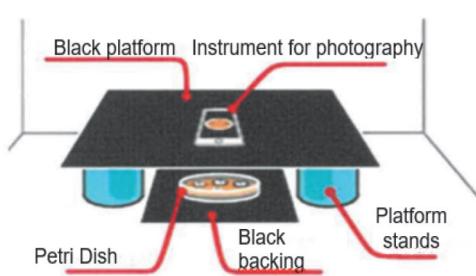


Figure 2. Open type design

Source: created by Pavel N. Filippov, Andrey G. Komarov, Vasiliy V. Shevtsov.

Рассматривается процесс подготовки микробиологических образцов, методика маркировки чашек Петри, процесс считывания этикетки с двух сторон чашки (первый снимок, вращение чашки на 180° , второй снимок) (рис. 4), правила размещения чашки в фотобоксе для оптимальной съемки.

Для корректной работы ИИ в процессе обработки изображений изучаются методы первичной обработки изображений, предварительная обработка: коррекция яркости и контраста, баланс белого, коррекция геометрических

искажений, устранение шума: применение медианных и гауссовых фильтров, детектирование и удаление артефактов, сегментация: пороговая обработка, контурный анализ, водораздел, выделение признаков; морфологические операции, классификация текстур, обнаружение и обработка этикеток, разделение изображений с несколькими этикетками на отдельные области.



Рис. 3. Итоговый вариант фотобокса

Источник: фото А.Г. Комарова.

Figure 3. Final version of the photo box

Source: photo by Andrey G. Komarov.



Рис. 4. Фото чашки Петри в закрытом фотобоксе

Источник: фото П.Н. Филиппова.

Figure 4. Photo of a Petri dish in a closed photo box

Source: photo by Pavel N. Filippov.

Для передачи обработанной информации (изображений) в вычислительной комплекс ИИ требуется организация хранения данных на базе специализированных отказоустойчивых хранилищ, в связи с чем рассматриваются процессы хранения и управления данными, принципы хранения данных в хранилищах типа S3, структура метаинформации (код исследования, год/месяц, номер пробы, порядковый номер чашки, название среды), процессы архивирования и управление объемом изображений.

В разделе курса, посвященном методологии аннотирования (разметки) цифровых изображений, рассматриваются значение аннотации и инструменты аннотации, важность качественной разметки для обучения ИИ-моделей, обзор инструментов для ручной разметки: CVAT (Computer Vision Annotation Tool) и GIMP (GNU Image Manipulation Program).

Произведена стандартизация изображений для разметки и сформулированы требования к изображениям для задачи подсчета колоний (черный фон, без бликов, 1:1 соотношение сторон, разрешение 2000×2000 px), требования к изображениям для задачи антибиотикорезистентности (черный фон, без бликов, 1:1 соотношение сторон, разрешение 4000×4000 px).

Рассмотрена аннотация объектов – подсчет колоний. Тип сегментации – Semantic Segmentation и Instance Segmentation. Определение меток (label) для микроорганизмов – название исследуемого микроорганизма (Group). Параметры меток – concentration 10^4 , 10^5 и т.д. Инструкции по разметке масками (Brushing tools) – закрашивание области одного микроорганизма, разметка перекрывающихся культур.

Рассмотрена аннотация объектов – антибиотикорезистентность, использование диска, пропитанного антибиотиком: тип разметки box (Bounding Box). Параметры метки – Type (вид антибиотика), R (радиус зоны лизиса). Инструкции по разметке Bounding Box – выделение дисков, простановка значений параметров. Фаги – тип разметки «теги». Метки – «Активный», «Нет активных».

Финальная часть аннотации – автоматизированная разметка с помощью алгоритмов кластеризации. Применение KMEAN, DBSCAN, BIRCH для выделения микробных культур по цвету/интенсивности пикселей и создание масок с помощью кластеризации.

Важно познакомить обучающихся с тем, что по завершении процессов аннотации необходимо провести контроль качества и валидацию. В связи с этим в содержание курса включено описание процессов валидации и верификации: независимая проверка разметки экспертами, способов использования Ground Truth (эталонных данных) и Ground Truth Accuracy (простейший способ оценки точности датасета), а также подходы к корректировке ошибок и неточностей разметки.

На основе полученных данных проводится обучение и валидация моделей ИИ, а именно: сбор и классификация данных для обучения, выбор классов бактерий (*Candida spp.*, *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Morganella morganii*, *Streptococcus spp.*, *Staphylococcus spp.*).

Осуществляется формирование сбалансированного датасета из 790 фотографий (395 с каждой стороны чашки) и 682 дополнительных изображений, ручная разметка 141 фотографии антибиотиков и различные количества для других микроорганизмов, структурирование и подготовка размеченных данных (нормализация, масштабирование).

Последующим этапом выступает обучение модели сегментации, выбор архитектуры модели: комбинация U-Net и ResNet-34. Конструкция U-Net с ResNet-34: кодировщик (ResNet-34) и декодер (транспонированные свертки, пропускать соединения), предобучение на ImageNet для ускорения процесса, аугментация данных (изменения освещения, повороты, масштабирование), разделение на обучающую (80 %) и валидационную (20 %) выборки. Определяются функции потерь (CrossEntropyLoss, DiceLoss, FocalLoss, MSELoss) и оптимизатор (Adam). Мониторинг и метрики вычисляются по IoU (Intersection over Union) и F-мера (Fscore).

Обучающимся предлагается знакомство со способами решения таких задач, как определение концентрации, использование сегментированных масок для определения области культур, подсчет площади культур (пикселей), построение линейной модели для количественного определения концентрации, оценка точности линейной модели – коэффициент детерминации (R^2) и среднеквадратичная ошибка (MSE), валидация модели на отдельном наборе данных, сверка с лабораторными данными. В учебном курсе приводятся примеры работы модели при решении задачи подсчета колоний.

Наряду с этим в рамках курса решается задача определения антибиотикорезистентности, использование сегментации (U-Net) для идентификации и локализации дисков с антибиотиками, проводится анализ зон ингибирования (расчет расстояний от центров дисков до границ зоны ингибирования), интерпретация результатов: сравнение со стандартными таблицами чувствительности/резистентности. Рассматриваются проблемы с распознаванием текста на дисках (необходимость OCR или дополнительной нейронной сети). Проводится создание и валидация модели для определения дисков и анализа резистентности, рассчитываются метрики для фагов: F1-мера и специфичность (Specificity). Приводятся примеры работы модели при решении задач на антибиотикорезистентность.

Заключительный этап – интеграция и практическое применение ИИ-систем в лабораторную практику. Рассматриваются практические аспекты интеграции автоматизированного анализа в существующие процессы. Производится оценка оптимизации рабочих процессов, сокращение временных и ресурсных затрат. Определяется экономическая и научная эффективность. Рассчитывается экономия времени персонала, снижение ошибок, повышение качества анализа. Оценивается конкурентоспособность разработанных методов на мировом уровне.

В рамках обучения по предлагаемому курсу рассматриваются этические и правовые аспекты. Проводится обсуждение проблем конфиденциальности

данных, ответственности за ошибки ИИ («черный ящик»). Акцентируется важность законодательного регулирования и кодексов этики для применения ИИ в медицине.

Для каждого раздела описываемого учебного курса предусмотрены практические задания для студентов, направленные на закрепление теоретических знаний и развитие прикладных навыков. Приведем некоторые из них.

1. Аналитический обзор. Подготовить краткий аналитический обзор (2–3 страницы) текущего состояния применения ИИ в микробиологии, выделив 3–5 ключевых направлений и их потенциал.

2. Проектирование фотобокса. Разработать схему и спецификацию для создания собственного фотобокса для съемки чашек Петри, учитывая требования к освещению и конструкции. Включить эскизы.

3. Ручная разметка колоний. С использованием инструмента CVAT (или аналогичного) выполнить ручную разметку колоний на 10–15 тестовых изображениях чашек Петри. Создать маски для различных микроорганизмов, присвоив соответствующие метки и параметры концентрации.

4. Оценка качества разметки. Самостоятельно или вместе с другими студентами провести взаимную проверку качества разметки, используя метрику Ground Truth Accuracy, и исправить выявленные ошибки.

5. Сбор и классификация данных. Изучить предоставленный датасет изображений. Провести визуальный анализ распределения различных классов бактерий. Предложить стратегию балансировки данных, если классы представлены несбалансированно.

6. Формулирование предложений по развитию методологии. На основе всего обучения предложить два-три конкретных направления для дальнейшего совершенствования описанной методологии или ИИ-моделей в контексте совершенствования микробиологической диагностики.

Обучение слушателей ДПО и студентов-микробиологов в рамках учебного курса «Применение искусственного интеллекта в микробиологической практике» проходит в смешанном формате, сочетающем теоретические и практические занятия и самостоятельную проектную работу.

Теоретические занятия. Лекции проводятся ведущими специалистами в области микробиологии, информационных технологий и ИИ. Они охватывают фундаментальные принципы ИИ, современные подходы к анализу изображений, а также конкретные методики, описанные в научном проекте. Особое внимание уделяется интерактивности обучения – реализации дискуссий и своевременных полноценных ответов на вопросы студентов.

Практические занятия в лаборатории. Студенты получают доступ к оборудованию, аналогичному описанному в проекте (фотобоксы, камеры), для отработки навыков получения высококачественных цифровых изображений микробиологических образцов. Под руководством опытных лаборантов они учатся правильно подготавливать чашки Петри, устанавливать освещение и выполнять съемку с соблюдением всех требований к качеству (см. рис. 1–4).

Работа с программным обеспечением. Большая часть практических занятий проходит за компьютерами. Для обработки изображений используются графические программы (GIMP или Adobe Photoshop), при помощи которых обучающиеся учатся корректировать яркость, контраст, баланс белого, а также устранять шумы и артефакты. Для аннотирования данных студенты при помощи CVAT для ручной разметки изображений создают маски для подсчета колоний и «ограничивающие прямоугольники» для определения антибиотикорезистентности, осваивая различные типы меток и их параметры. Проводится взаимная проверка размеченных данных для улучшения точности.

Студентам предоставляется доступ к интерфейсу разработанных ИИ-моделей. Они учатся загружать собственные обработанные и размеченные данные на платформу AMRcloud, запускать процесс анализа и интерпретировать результаты. Особое внимание уделяется анализу визуальных выводов моделей, таких как сегментированные маски подсчета колоний и отображение зон ингибирования антибиотиков.

В рамках самостоятельной работы студенты получают индивидуальные или групповые задания, которые требуют применения знаний из всех модулей. Это включает сбор и подготовку собственных небольших датасетов, их разметку, а также анализ результатов работы ИИ-моделей на этих данных. Финальный этап – защита мини-проекта, где студенты демонстрируют свои навыки и предлагают идеи для дальнейшего развития системы.

На протяжении всего учебного курса поддерживаются регулярные сессии вопросов и ответов, позволяющие прояснить сложные моменты, обсудить потенциальные проблемы и обменяться идеями с преподавателями и коллегами. Например, студенты могут обсудить, кому принадлежит ответственность, если ИИ-алгоритм ошибся в диагностике, можно ли использовать «черные ящики» (модели, не дающие объяснений) в клинике и т.п. Внимание акцентируется на практическом опыте, что дает возможность не только изучить теорию, но и непосредственно взаимодействовать с технологиями ИИ, понимая их возможности и ограничения в контексте реальной микробиологической практики.

Заключение. Внедрение предложенных модели, образовательной платформы и способов обучения позволило выявить, что для эффективного использования ИИ в системе подготовки медицинских работников, в частности специалистов в области микробиологии, помимо обучения возможностям современных средств ИИ, необходимо предусмотреть знакомство обучающихся с правомерностью использования материалов исследований, особенностями работы с персональными данными, видами и спецификой соответствующих существующих угроз и рисков. Необходимо показать обучающимся, какие критерии можно и нужно использовать при обучении модели ИИ.

В ходе описанного исследования детализированы методы сбора, предварительной обработки и анализа данных, разработаны алгоритмы машинного обучения, а также методики обучения и валидации систем ИИ. Особое внимание

ние уделялось аспектам обеспечения высокого качества собранных данных, точности и эффективности алгоритмов машинного обучения, а также их пригодности для интеграции как в практическую микробиологическую деятельность, так и в процессы соответствующей подготовки будущих и практикующих микробиологов.

Разработанный и описанный учебный курс вместе с отобранными средствами обучения для подготовки слушателей ДПО и студентов – будущих микробиологов является основой для их эффективной подготовки.

Проводимое исследование дополнительно подчеркивает научную значимость и практическую необходимость применения инновационных подходов в микробиологии, а также демонстрирует, как модель ИИ, используемая в качестве соответствующей образовательной платформы, может способствовать развитию содержания, методов и средств обучения слушателей ДПО и студентов медицинских специальностей вузов.

Подобного рода исследования могут вносить значимый вклад в совершенствование системы подготовки медицинских работников, в рамках которой целесообразно использовать технологии ИИ в качестве объекта и средства обучения.

Список литературы

- [1] Манаников, А.О., Гаев Л.В. Использование технологий искусственного интеллекта в медицине: современные подходы и перспективы // Тенденции развития науки и образования. 2024. № 111-8. С. 58–61. EDN: DSHYSZ
- [2] Соусова Я.В., Паскарь С.С., Шипулин Н.А., Богомолова М.В., Соусова Е.В. Применение искусственного интеллекта в некоторых областях медицины: обзор литературы и описание клинического случая // Госпитальная медицина: наука и практика. 2025. Т. 8. № 1. С. 64–72. EDN: GXRLKB
- [3] Гильманов Р.А., Ахметов И.В. Верификация и доступность данных для обучения моделей искусственного интеллекта в медицине // Современные научные исследования и инновации. 2025. № 3(167). EDN: ZUYUGY
- [4] Байтурганов Т.М. Использование искусственного интеллекта пациент-центрированной онлайн-системы Saubol в превентивной медицине Казахстана: обзор литературы / Т.М. Байтурганов, Г.К. Айткоzin, Л.Э. Жунусова [и др.] // Вестник науки и творчества. 2023. № 8(90). С. 20–27. EDN: WKSRRHJ
- [5] Авачева Т.Г., Милованова О.А., Кривушин А.А., Прохина С.А. Особенности преподавания искусственного интеллекта в рамках программ высшего медицинского образования // Российский журнал персонализированной медицины. 2025. Т. 5. № 2. С. 154–165. <https://doi.org/10.18705/2782-3806-2025-5-2-154-165> EDN: XPGBFE
- [6] Худик В.А. Роль искусственного интеллекта в оптимизации учебного процесса в медицинском вузе // Вестник Санкт-Петербургского научно-исследовательского института педагогики и психологии высшего образования. 2025. № 1(13). С. 5–18. EDN: MRATIJ
- [7] Bessa L.J., Shaaban M., Aminov R. Editorial: insights in antimicrobials, resistance & chemotherapy: 2022 // Frontiers in Microbiology. 2023. Vol. 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1310156>
- [8] Lakbar I., Singer M., Leone M. 2030: will we still need our microbiologist? // Intensive Care Medicine. 2023. Vol. 49. P. 1232–1234. <https://doi.org/10.1007/s00134-023-07186-6>

- [9] Antonios K., Croxatto A., Culbreath K. Current state of laboratory automation in clinical microbiology laboratory // Clinical Chemistry. 2022. Vol. 68. No. 1. P. 99–114. <https://doi.org/10.1093/clinchem/hvab242>
- [10] Tran K N. Evolving applications of artificial intelligence and machine learning in infectious diseases testing / Nam K Tran, Samer Albahra, Larissa May [et al.] // Clinical Chemistry. 2022. Vol. 68. No. 1. P. 125–133. <https://doi.org/10.1093/clinchem/hvab239>
- [11] Ahsan Z. Integrating artificial intelligence into medical education: a narrative systematic review of current applications, challenges, and future directions // BMC Medical Education. 2025. Vol. 25. Article 1187. <https://doi.org/10.1186/s12909-025-07744-0>
- [12] Arnaout R. Machine learning in clinical pathology: seeing the forest for the trees // Clinical Chemistry. 2018. Vol. 64. No. 11. P. 1553–1554. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2018.295121>
- [13] Алексеева М.Г., Зубов А.И., Новиков М.Ю. Искусственный интеллект в медицине // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 7(121-2). С. 10–13. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.121.7.038>
- [14] Брянцева О.В. Основные направления и проблемы внедрения технологий искусственного интеллекта в медицине // Вестник Саратовской государственной юридической академии. 2024. № 3(158). С. 118–121. <https://doi.org/10.24412/2227-7315-2024-3-118-121> EDN: FVIBPX
- [15] Сенатов А.В., Сенатов Ю.А. Развитие искусственного интеллекта в медицине: проблемы и направления использования // Социальные отношения. 2024. № 2(49). – С. 85–94. EDN: DTQDKF

References

- [1] Manannikov AO, Gaev LV. Use of artificial intelligence technologies in medicine: modern approaches and prospects. *Trends in the Development of Science and Education*. 2024;(111-8):58–61. (In Russ.) EDN: DSHYSZ
- [2] Sousova IV, Paskar' SS, Shipulin NA, Bogomolova MV, Sousova EV. Uses of artificial intelligence in medicine: literature review and description of a clinical case. *Hospital Medicine: Science and Practice*. 2025;8(1):64–72. (In Russ.) EDN: GXRLKB
- [3] Gilmanov RA, Akhmetov IV. Verification and accessibility of data for teaching models of artificial intelligence in medicine. *Modern Scientific Research and Innovations*. 2025;(3). (In Russ.) EDN: ZUYUGY
- [4] Baiturgenov TM, Aitkozhin GK, Zhunussova LE, et al. The use of artificial intelligence in the patient-centered online system Saubol in preventive medicine in Kazakhstan: a literature review. *Vestnik Nauki i Tvorchestva = Bulletin of Science and Creativity*. 2023;(8):20–27. (In Russ.) EDN: WKSRRHJ
- [5] Avacheva TG, Milovanova OA, Krivushin AA, Prohina SA. Features of teaching artificial intelligence within higher medical education programs. *Russian Journal for Personalized Medicine*. 2025;5(2):154–165. (In Russ.) <https://doi.org/10.18705/2782-3806-2025-5-2-154-165> EDN: XPGBFE
- [6] Khudik VA. The role of artificial intelligence in optimizing the educational process at a medical university. *Bulletin of the St. Petersburg Research Institute of Pedagogy and Psychology of Higher Education*. 2025;(1):5–18. (In Russ.) EDN: MRATIJ
- [7] Bessa LJ, Shaaban M, Aminov R. Editorial: insights in antimicrobials, resistance & chemotherapy: 2022. *Frontiers in Microbiology*. 2023;14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1310156>
- [8] Lakbar I, Singer M, Leone M. 2030: will we still need our microbiologist? *Intensive Care Medicine*. 2023;49:1232–1234. <https://doi.org/10.1007/s00134-023-07186-6>

- [9] Antonios K, Croxatto A, Culbreath K. Current state of laboratory automation in clinical microbiology laboratory. *Clinical Chemistry*. 2022;68(1):99–114. <https://doi.org/10.1093/clinchem/hvab242>
- [10] Tran K N, Albahra S, May L, et al. Evolving applications of artificial intelligence and machine learning in infectious diseases testing. *Clinical Chemistry*. 2022;68(1):125–133. <https://doi.org/10.1093/clinchem/hvab239>
- [11] Ahsan Z. Integrating artificial intelligence into medical education: a narrative systematic review of current applications, challenges, and future directions. *BMC Medical Education*. 2025;25:1187. <https://doi.org/10.1186/s12909-025-07744-0>
- [12] Arnaout R. Machine learning in clinical pathology: seeing the forest for the trees. *Clinical Chemistry*. 2018;64(11):1553–1554. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2018.295121>
- [13] Alekseeva MG, Zubov AI, Novikov MYu. Artificial intelligence in medicine. *International Research Journal*. 2022;(7):10–13. (In Russ.) <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.121.7.038>
- [14] Bryantseva OV. Main directions and problems of implementation of artificial intelligence technologies in medicine. *Saratov State Law Academy Bulletin*. 2024;(3):118–121. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2227-7315-2024-3-118-121> EDN: FVIBPX
- [15] Senatov AV, Senatov YuA. The development of artificial intelligence in medicine: problems and directions of use. *Social Relations*. 2024;(2):85–94. (In Russ.) EDN: DTQDKF

Сведения об авторах:

Филиппов Павел Николаевич, врач-бактериолог, заведующий лабораторным центром, Московский научно-практический центр лабораторных исследований Департамента здравоохранения г. Москвы, Российская Федерация, 115580, Москва, Ореховый бульвар, д. 49, корп. 1. ORCID: 0009-0001-3613-0558. E-mail: FilippovPN@dcli.ru

Комаров Андрей Григорьевич, главный внештатный специалист по клинической лабораторной диагностике Департамента здравоохранения г. Москвы, директор, Московский научно-практический центр лабораторных исследований Департамента здравоохранения г. Москвы, Российская Федерация, 115580, Москва, Ореховый бульвар, д. 49, корп. 1. ORCID: 0009-0000-8597-7125; SPIN-код: 8442-5834. E-mail: KomarovAG@dcli.ru

Лобастов Константин Михайлович, генеральный директор, ООО «ТРЕТИС», Российская Федерация, 125315, Москва, Ленинградский пр., д. 80б, корп. 3, помещ. 14/т. ORCID: 0009-0009-0089-1388. E-mail: kmlobastov@gmail.com

Хакимов Рустам Альбертович, технический руководитель, ООО «ТРЕТИС», Российская Федерация, 125315, Москва, Ленинградский пр., д. 80б, корп. 3, помещ. 14/т. ORCID: 0000-0002-0384-882X. E-mail: rabotaystam@yandex.ru

Шевцов Василий Викторович, директор Департамента технологических и информационных ресурсов, Дирекция по цифровизации, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0009-0002-1624-9823. Email: shevtsov-vv@rudn.ru

Усова Наталья Александровна, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий, Институт непрерывного образования и сравнительной политики, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0002-1728-7736; SPIN-код: 8658-2032. E-mail: usova_na@pfur.ru

Bio notes:

Pavel N. Filippov, Bacteriologist, Head of the Laboratory Center, Moscow Scientific and Practical Center for Laboratory Diagnostics of the Moscow Healthcare Department,

49 Orekhovy bul'var, bldg 1, Moscow, 115580, Russian Federation. ORCID: 0009-0001-3613-0558. E-mail: FilippovPN@dcli.ru

Andrey G. Komarov, Chief Freelance Specialist in Clinical Laboratory Diagnostics, Moscow Healthcare Department, Director of the Moscow Scientific and Practical Center for Laboratory Diagnostics of the Moscow Healthcare Department, 49 Orekhovy bul'var, bldg 1, Moscow, 115580, Russian Federation. ORCID: 0009-0000-8597-7125; SPIN-code: 8442-5834. E-mail: KomarovAG@dcli.ru.

Konstantin M. Lobastov, Chief Executive Officer (CEO), TRETIS LLC, 80B Leningradskiy Ave, bldg 3, room 14/t, Moscow, 125315, Russian Federation. ORCID: 0009-0009-0089-1388. E-mail: kmlobastov@gmail.com

Rustam A. Khakimov, Chief Technology Officer (CTO), TRETIS LLC, 80B Leningradskiy Ave, bldg 3, room 14/t, Moscow, 125315, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-0384-882X. E-mail: rabotarystam@yandex.ru

Vasiliy V. Shevcov, Director of the Department of Technological and Information Resources, Directorate for Digitalization, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0009-0002-1624-9823. E-mail: shevtsov-vv@rudn.ru

Natalia A. Usova, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Technologies, Institute of Continuing Education and Comparative Policy, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-1728-7736; SPIN-code: 8658-2032. E-mail: usova_na@pfur.ru