

Система аннотирования биомедицинских изображений на основе интернет-технологий В ОНКОГЕМАТОЛОГИИ

В.В. Дмитриева, Я.А. Магманова, В.И. Цыпляк, Е.В. Поляков

Аннотация. Статья посвящена разработке системы аннотирования биомедицинских изображений на базе информационных технологий. Рассматриваемая проблема заключается в отсутствии открытых отечественных решений разметки биомедицинских изображений, позволяющих врачам-экспертам автоматизировать процесс создания наборов данных на местах с последующей обработкой методами машинного обучения. Представлен прототип интернет-системы аннотирования биомедицинских изображений для экспертной оценки на примере ядросодержащих клеток костного мозга. Процесс аннотирования включает: маркировку, классификацию объектов и структур на цифровом изображении. Система реализована на языке PHP, с применением CSS, HTML, JavaScript и базы данных MySQL. В качестве исходных данных использованы изображения, полученные с препаратов крови и костного мозга пациентов больных острым лимфобластным лейкозом. В системе предусмотрено несколько ролей для пользователей: врач, эксперт и администратор. Разработанная система позволяет проводить анализ биомедицинских изображений и указывать не только тип маркера, но и предоставляет возможность добавлять диагноз, просматривать данные по пациенту, вводить новые данные для исследуемых клеток. Информационная система обеспечивает загрузку изображений, проведение аннотирования изображений с предоставлением пользователю для принятия решения, индекс согласия экспертов просматриваемого типа. Также разработанный прототип может быть использован для консультации молодыми специалистами при анализе биомедицинских изображений.

Ключевые слова — аннотирование данных; информационная система; PHP; формирование набора данных, миелограмма, острый лимфобластный лейкоз.

I. ВВЕДЕНИЕ

В динамично развивающейся сфере современного

здравоохранения информационные технологии произвели революцию в медицинской диагностике и лечении. По мере того как технологии все больше внедряются в медицинские лаборатории, микроскопический анализ цифровых изображений образцов тканей позволяет обнаруживать заболевания на ранних стадиях, повышая точность диагноза и позволяя более индивидуально подходить к лечению пациентов. Анализ изображений клеток крови и костного мозга является важной частью диагностики многих заболеваний, в том числе онкогематологических и аутоиммунных. Данный анализ позволяет исследователям и врачам обнаруживать аномалии в клетках, определять их тип и степень развития, а также отслеживать результаты лечения. Для успешного анализа изображений клеток крови и костного мозга требуются не только специалисты в этой области, но и использование современных информационных технологий [1-6].

Необходимо обратить внимание на аннотирование изображений. Аннотирование - процесс разметки изображений с целью выделения и классификации конкретных элементов. Процесс аннотирования включает маркировку и классификацию объектов и структур на цифровом изображении. Сложность биомедицинских изображений и необходимость в аннотированных наборах данных требует интеграции передовых информационных систем, интернета вещей и интернет-технологий для повышения точности и эффективности анализа. Среди фундаментальных потребностей в области анализа биомедицинских изображений и, в частности, клеток крови и костного мозга является требование к аннотированию изображений и наличию аннотированных наборов данных [1].

В случае анализа клеток крови и костного мозга, аннотирование позволяет выделить и идентифицировать различные типы клеток, а также обозначить особенности их структуры или состояния. Аннотирование изображений является неотъемлемой частью анализа, так как помогает проводить сравнительный анализ разных образцов, а также предоставляет базу данных для обучения алгоритмов машинного обучения [1- 9].

Интеграция технологий интернета вещей может сыграть ключевую роль в оптимизации сбора и передачи данных изображений. Интернет вещей использует

Статья получена 11.01.2025.

Дмитриева Валентина Викторовна, Национальный Исследовательский Ядерный Университет МИФИ, доцент кафедры электрофизических установок, dmitrievq@yandex.ru

Магманова Яна Александровна, Философия.ИТ, аналитик, yana.glebova138@gmail.com

Цыпляк Вячеслав Игоревич, Сбербанк технологии, главный ИТ-инженер, slavca.ru@yandex.ru

Поляков Евгений Валерьевич, Национальный Исследовательский Ядерный Университет МИФИ, доцент кафедры медицинской физики, EVPolyakov@mephi.ru

взаимосвязанные устройства, такие как цифровые микроскопы и сканеры изображений, для захвата и загрузки изображений высокого разрешения на централизованные серверы или облачные платформы. Это подключение в режиме реального времени обеспечивает беспрепятственный обмен данными, удаленный доступ и совместный анализ независимо от географических ограничений. Кроме того, устройства с поддержкой Интернета вещей могут быть оснащены усовершенствованными датчиками, позволяющими извлекать дополнительные параметры данных (например, морфологию клеток, интенсивность окрашивания) для дальнейшего улучшения всестороннего анализа [4, 5, 7].

Интернет-технологии служат основой взаимосвязанной экосистемы, способствуя беспрепятственному обмену информацией между различными заинтересованными сторонами, такими как клиницисты, лаборанты и исследователи. Веб-интерфейсы и защищенные платформы обеспечивают централизованное хранение, поиск и анализ данных, обеспечивая эффективную совместную работу, обмен данными и удаленную диагностику. Эти технологии обеспечивают своевременный доступ к критически важной информации, способствуют более быстрому принятию решений, поддерживают инициативы в области телемедицины и делают доступными ресурсы здравоохранения в регионах с недостаточным уровнем обслуживания [5, 10, 11].

В настоящее время для аннотирования данных, как отмечается в Интернете и различных публикациях [12 - 16], имеется множество программных и интернет решений. Среди которых можно отметить следующие: Labelbox, LabelImg [15], RectLabel, Supervisely и на основе интернет технологии, некоторые из них: CVAT (app.cvat.ai), labelstud (labelstud.io).

Несмотря на то, что существующие информационные медицинские системы значительно улучшили рабочие процессы в лабораториях, на современном этапе сохраняется ряд проблем. Проблемы совместимости между различным оборудованием и программными решениями, проблемы безопасности данных и отсутствие стандартизированных методик аннотирования препятствуют беспрепятственной интеграции различных технологий. Кроме того, массовое производство высококачественных аннотированных наборов данных для обучения моделей машинного обучения остается узким местом в разработке надежных алгоритмов автоматизированного анализа. Преодоление этих проблем требует разработки специализированных информационных систем, специально адаптированных к потребностям анализа биомедицинских данных и, в частности, диагностики онкогематологических заболеваний [8, 16]. Рассматриваемой проблемой является отсутствие открытых отечественных решений разметки биомедицинских изображений, позволяющих врачам-экспертам автоматизировать процесс создания наборов данных на местах с последующей обработкой методами

машинного обучения, а специалистам в области информационных систем разработку, интеграцию оборудования и программных решений.

Переходя от представленных выше проблем к предлагаемому решению, заключающемуся в том, что необходима система, позволяющая получать данные от различного оборудования их обрабатывать с учетом безопасности медицинских данных и предоставлять в обработанном виде пользователю.

Целью работы - разработка прототипа интернет системы экспертного анализа биомедицинских изображений на примере ядросодержащих клеток крови и костного мозга за счет обеспечения совместимости оборудования, программных решений и формализации методик аннотирования биомедицинских данных.

II. ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АННОТИРОВАНИЯ БИОМЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Система реализована на языке PHP, с применением CSS, HTML, JavaScript и базы данных MySQL. PHP: используется в роли серверной части системы и выполняет обработку запросов пользователей и взаимодействия с базой данных. CSS и HTML: используются для создания визуального интерфейса системы и разметки пользовательского интерфейса. JavaScript: обеспечивает добавление интерактивности системе, валидацию данных на стороне клиента и обновления данных без перезагрузки страницы.

Система представляет собой Интернет-приложение состоящие из интерфейса и базы данных (рис. 1). Предложенный прототип был развернут для тестирования на сервере со следующими характеристиками: ПК Intel(R) Core(TM) i7-8700 CPU 3.20 ГГц, 3.19 ГГц, 32 Гб оперативной памяти, видеокарта Nvidia RTX 3060 с 12ГБ памяти. Графический ускоритель используется в методах машинного обучения для формирования обученной модели с последующей её публикацией и тестированием при обнаружении и классификации изображений ядросодержащих клеток крови.

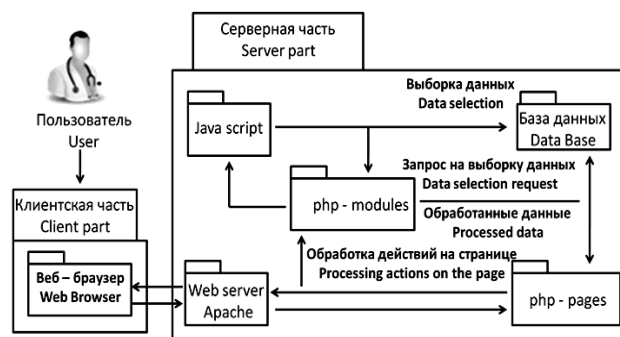


Рис. 1. Структура интернет-системы для проведения аннотирования и формирования аннотированных наборов данных для обучения систем анализа биомедицинских изображений

Интерфейс программы представлен на рис. 2.

Данный прототип предусматривает несколько ролей пользователей: врач, эксперт и администратор.



Рис. 2. Основной интерфейс информационной системы для проведения аннотирования биомедицинских изображений

Разработанный прототип предоставляет пользователю следующие возможности на основе выданных администратором прав (табл. 1): добавление диагноза, просмотр данных по пациенту, добавление нового типа для клетки. Обеспечивает загрузку изображений, проведение аннотирования изображений (рис. 3).

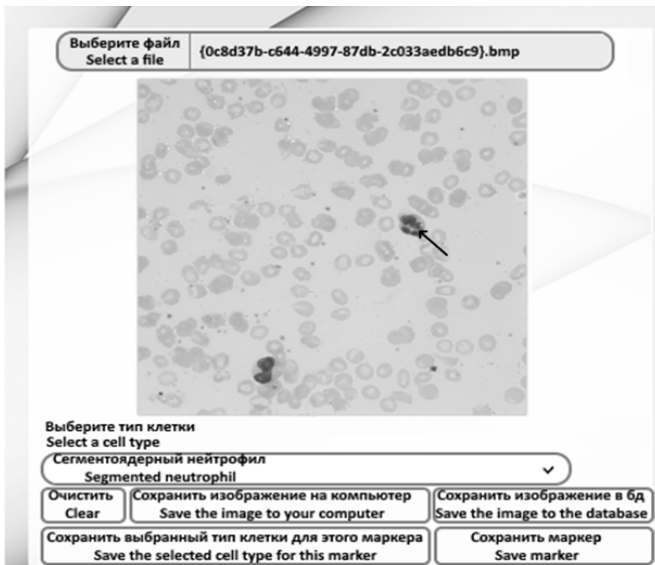


Рис. 3. Пример установления выбранной клетке типа, посредством графического примитива

В таб. 1 показана схема последовательности выполнения действий для каждой роли пользователей интернет-приложения.

Таблица 1. Категории пользователи и их возможности

Категория пользователей	Предоставляемые возможности
Эксперт	- Добавление пациента / типов клеток и структур / диагноза / изображений - Просмотр данных пациента - Просмотр изображений пациента / статистику по выбранному изображению - Аннотирование изображений
Пользователь	- Просмотр добавленных изображений - Просмотр статистики по изображению
Администратор	- Добавить категории пользователей Зарегистрировать пользователя - Просмотр добавленных пользователей - Просмотр статистики по выбранному изображению

Также система позволяет просматривать аннотированные изображения с отображением «голосов» - сколько возможных вариантов типов было выбрано экспертами за тот или иной тип (рис. 4).

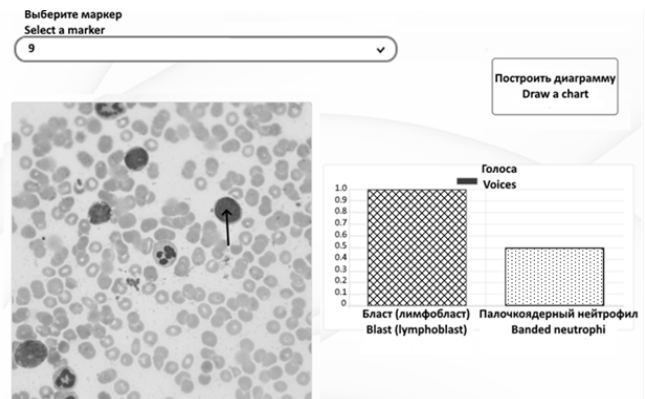


Рис. 4. Пример отображения результатов проведенной экспертами аннотирования

Методика аннотирования [18]:

Эксперт авторизуется в личном профиле, проверяет необходимость внесения сведений по размечаемому препарату: необходимые типы объектов, нозологические формы, код для последующей идентификации препарата и больного. Далее проводит загрузку изображений, относящихся к препарату. На следующем шаге проводит аннотирование изображений. Аннотированию подвергаются все объекты на изображении. Например, в данном случае ядросодержащие клетки крови.

Процесс формирования набора данных:

Набор начинает формироваться с указания препарата и в последующем при проведении аннотирования изображения добавляются метки, установленные на изображениях препарата. Далее препарата и относящиеся к нему изображения выгружаются и сохраняются в формате *.xml, *.txt, *.json. Идентификация изображения и соответствующего для него описания осуществляется по названию файла, который задан с помощью UUID генератора. Полученный набор в дальнейшем применяется для обучения сверточной нейронной сети.

III. ОБСУЖДЕНИЕ

Разработанная система реализована, протестирована и размещена на тестовом сервере для опытной эксплуатации и сбора информации о работе системы. Пример заполнения системы данными из имеющейся базы данных изображений препаратов больных острым лимфобластным лейкозом для их последующего аннотирования показан на рис. 5.

Система для генерации маркеров и аннотаций дает ряд преимуществ. Прежде всего, такая система позволяет адаптироваться к уникальным требованиям анализа клеток крови и костного мозга, обеспечивая совместимость с существующим лабораторным оборудованием, протоколами получения изображений и алгоритмами анализа. Адаптация системы к потребностям конкретной предметной области помогает

свести к минимуму ошибки, повысить эффективность и оптимизировать рабочие процессы. Кроме того, специальная система обеспечивает непрерывное совершенствование и оптимизацию на основе отзывов пользователей, развивающихся медицинских знаний и технологических достижений, стимулируя инновации в области онкогематологической диагностики.

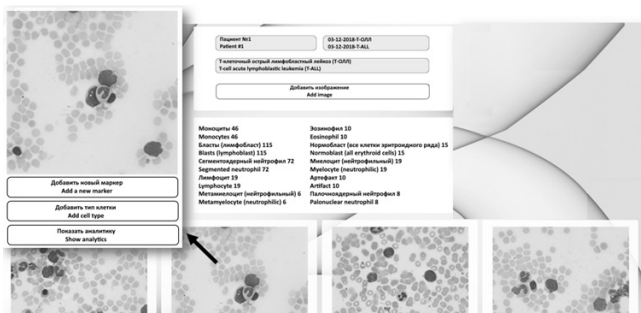


Рис. 5. Пример заполнения системы данными из имеющейся базы данных изображений препаратов больных острым лимфобластным лейкозом для их последующего аннотирования.

Важной особенностью данной аналитической информационной системы является то, что после добавления всей нужной информации, есть возможность просмотра статистики по каждому изображению (рис. 4). Данный модуль реализован с помощью библиотеки Chart.js. Чтобы просмотреть статистику необходимо выбрать изображение, нажав «Посмотреть статистику», на открывшейся странице выбрать маркер и нажать «Построить диаграмму». На диаграмме показано количество голосов экспертов – индекс согласия за конкретный тип клеток по выбранному маркеру.

Полученные от экспертов голоса, отображенные на гистограмме, формируют критерий согласия, учитывающих квалификацию эксперта – разметчика, стаж работы, специализацию. Полученный критерий позволяет пользователям принимать решение на основе данного критерия.

По результатам тестирования системы, были выявлены некоторые замечания, касающиеся представления данных. Одним из примеров - отображение названия типов маркеров, а не идентификаторов. В дальнейшем планируется оптимизация программы для работы на мобильных устройствах.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Статья посвящена разработке системы аннотирования биомедицинских изображений на базе информационных технологий. Разработан прототип интернет системы экспертного анализа биомедицинских изображений на примере ядросодержащих клеток крови и костного мозга за счет обеспечения совместимости оборудования и программных решений и формализации методик аннотирования биомедицинских данных. Данный прототип обеспечит формирование высококачественных аннотированных наборов данных биомедицинских изображений для обучения моделей машинного

обучения и разработки надежных алгоритмов автоматизированного анализа.

Прежде всего, система позволяет адаптироваться к уникальным требованиям анализа биомедицинских изображений, наличием совместимости с анализаторами изображений в части получения изображений и последующей его обработки.

По результатам аннотирования изображений, пользователю предоставляется аналитическая информация по типам объектов указанным экспертами. Данная информация представляет интерес в практическом, научном и образовательном аспектах для специалистов в области медицинской диагностики.

Дальнейшим развитием системы направлено на интеграцию в систему модулей расчета характеристик аннотированных объектов и визуализации данных.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Fazeli S., Samiei A., Lee T. D., Sarrafzadeh M. Beyond Labels: Visual Representations for Bone Marrow Cell Morphology Recognition // 2023 IEEE 11th International Conference on Healthcare Informatics (ICHI). – IEEE, 2023. – С. 111-117. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2205.09880>
- [2] Malik S., Iftikhar A., Tauqeer F.H., Adil M., Ahmed S. A Systematic Literature Review on Leukemia Prediction Using Machine Learning // Journal of Computing & Biomedical Informatics. – 2022. – Т. 3. – №. 02. – С. 104-123. DOI: 10.5679/302/2022/73
- [3] Deshpande N.M., Gite S., Aluvalu D. A review of microscopic analysis of blood cells for disease detection with AI perspective // PeerJ Computer Science. – 2021. – Т. 7. – С. e460. DOI:10.7717/peerj-cs.460
- [4] Fu X., Fu M., Li Q., Peng X., Lu J., Fang F., Chen M. Morphogo: an automatic bone marrow cell classification system on digital images analyzed by artificial intelligence // Acta Cytologica. – 2020. – Т. 64. – №. 6. – С. 588-596. DOI:10.1159/000509524
- [5] Dmitrieva V.V., Tupitsyn N.N., Polyakov E.V., Nosova E.M., Palladina A.D., Tsypliyak V.I., Liberis K.A. Meditsinskaya informatsionnaya sistema s primeneniem web-tekhnologiy dlya diagnostiki ostrykh limfoblastnykh leykozov i minimal'noy ostatochnoy bolezni. // Bezopasnost informatsionnykh tehnologiy. 2021. V. 28. P. 44-55. <https://doi.org/10.26583/bit.2021.3.03> (In Russian)
- [6] Moral-Muñoz J.A., Herrera-Viedma E.E., Santisteban-Espejo A., Cobo M.J. Software tools for conducting bibliometric analysis in science: An up-to-date review // Profesional de la Información. – 2020. – Т. 29. – №. 1. DOI: 10.3145/epi.2020.ene.03
- [7] Karar M., Alotaibi B., Alotaibi M. Intelligent medical IoT-enabled automated microscopic image diagnosis of acute blood cancers // Sensors. – 2022. – Т. 22. – №. 6. – С. 2348. DOI:10.3390/s22062348
- [8] Medovy, V. S., Volkov, G. D., Strela, N. M., & Pervushkin, I. V. An Adaptable Cloud-Based Multiple-Unit Laboratory Microscopy System // Biomedical Engineering. – 2021. – Т. 55. – №. 1. – С. 36-40. <http://dx.doi.org/10.1007/s10527-021-10066-2>
- [9] Kaza N., Ojaghi A., Robles F.E. Virtual staining, segmentation, and classification of blood smears for label-free hematology analysis // BME frontiers. – 2022. DOI:10.34133/2022/9853606
- [10] Bagg A, Raess PW, Rund D, Bhattacharyya S, Wiszniewska J, Horowitz A, Jengehino D, Fan G, Huynh M, Sanogo A, Avivi I, Katz BZ. Performance Evaluation of a Novel Artificial Intelligence-Assisted Digital Microscopy System for the Routine Analysis of Bone Marrow Aspirates. Mod Pathol. 2024 Sep;37(9):100542. doi: 10.1016/j.modpat.2024.100542. Epub 2024 Jun 17. PMID: 38897451.
- [11] Koshkarov A.A., Murashko R.A., Elishev V.G., Shevkunov L.N., Frolova I.G., Choinzonov E.L., Dubrovin A.V., Umetsky I.N. Peculiarities of distributed storage of medical images in oncology service within the framework of creation of a unified digital circuit// Physician and Information Technology. 2020. №S1. P.15-27. DOI: 10.37690/1811-0193-2020-S1-15-27(in Russian).

- [12] Tsutsui, S., Pang, W., Wen, B. WBCAtt: a white blood cell dataset annotated with detailed morphological attributes // *Advances in Neural Information Processing Systems*. – 2024. – Т. 36.
- [13] Bouchakwa M., Ayadi Y., Amous I. Application of image processing and convolutional neural networks for flood image classification and semantic segmentation // *Environmental modelling & software*. – 2022. – Т. 148. – С. 105285.
- [14] Dutta A., Zisserman A. The VIA annotation software for images, audio and video // *Proceedings of the 27th ACM international conference on multimedia*. – 2019. – С. 2276-2279.
- [15] Park, S., Yu, S., Kim, J., Yoon, H. An all-in-one vehicle type and license plate recognition system using YOLOv4 // *Sensors*. – 2022. – Т. 22. – №. 3. – С. 921.
- [16] Zhang, C., Loken, K., Chen, Z., Xiao, Z., Kunkel, G. Mask editor: an image annotation tool for image segmentation tasks // *arXiv preprint arXiv:1809.06461*. – 2018.. abs/1809.06461.
- [17] Giovagnoli M.R., Giansanti D. Artificial intelligence in digital pathology: What is the future? Part 1: From the digital slide onwards // *Healthcare*. – MDPI, 2021. – Т. 9. – №. 7. – С. 858. DOI:10.3390/healthcare9070858
- [18] ГОСТ Р 59921.2-2021 Системы искусственного интеллекта в клинической медицине. Часть 1. Клиническая оценка. М., 2004. 7 с

A system for annotating biomedical images based on internet technology in oncohematology

V.V. Dmitrieva, Ya.A. Magmanova, V.I. Tsyplyak, E.V. Polyakov

Abstract. The article is devoted to the development of analytical capabilities in hematology based on information technology for annotating biomedical images. The problem under consideration is the lack of solutions that allow expert doctors to automate the process of creating data sets in the field with subsequent processing by machine learning methods. A prototype of an online system for annotating biomedical images for expert evaluation is presented using the example of nucleated bone marrow cells. The annotation process includes: labeling, classification of objects and structures in a digital image. The system is implemented in PHP, using CSS, HTML, JavaScript and a MySQL database. Images obtained from blood and bone marrow preparations of patients with acute lymphoblastic leukemia were used as initial data. The system provides several roles for users: doctor, expert and administrator. The developed system allows for the analysis of biomedical images and indicates not only the type of marker, but also provides the opportunity to add a diagnosis, view patient data, and enter new data for the studied cells. The information system provides for uploading images, annotating images with providing the user with a decision, and evaluating the confidence of the type being viewed. The developed prototype can also be used for consultation by young specialists in the analysis of biomedical images.

Keywords — data annotation; information system; PHP; data set formation, myelogram, acute lymphoblastic leukemia.

REFERENCES

- [1] Fazeli S., Samiei A., Lee T. D., Sarrafzadeh M. Beyond Labels: Visual Representations for Bone Marrow Cell Morphology Recognition // 2023 IEEE 11th International Conference on Healthcare Informatics (ICH). – IEEE, 2023. – C. 111-117. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2205.09880>
- [2] Malik S., Iftikhar A., Tauqeer F.H., Adil M., Ahmed S. A Systematic Literature Review on Leukemia Prediction Using Machine Learning // Journal of Computing & Biomedical Informatics. – 2022. – T. 3. – №. 02. – C. 104-123. DOI: 10.56979/302/2022/73
- [3] Deshpande N.M., Gite S., Aluvalu D. A review of microscopic analysis of blood cells for disease detection with AI perspective // PeerJ Computer Science. – 2021. – T. 7. – C. e460. DOI:10.7717/peerj-cs.460
- [4] Fu X., Fu M., Li Q., Peng X., Lu J., Fang F., Chen M. Morphogo: an automatic bone marrow cell classification system on digital images analyzed by artificial intelligence // Acta Cytologica. – 2020. – T. 64. – №. 6. – C. 588-596. DOI:10.1159/000509524
- [5] Dmitrieva V.V., Tupitsyn N.N., Polyakov E.V., Nosova E.M., Palladina A.D., Tsyplyak V.I., Liberis K.A. Meditsinskaya informatsionnaya sistema s primeneniem web-tekhnologiy dlya diagnostiki ostrykh limfoblastnykh leykozov i minimal'noy ostatochnoy bolezni. // Bezopasnost informacionnykh tehnologiy. 2021. V. 28. P. 44-55. <https://doi.org/10.26583/bit.2021.3.03> (In Russian)
- [6] Moral-Muñoz J.A., Herrera-Viedma E.E., Santisteban-Espejo A., Cobo M.J. Software tools for conducting bibliometric analysis in science: An up-to-date review // Profesional de la Información. – 2020. – T. 29. – №. 1. DOI: 10.3145/epi.2020.ene.03
- [7] Karar M., Alotaibi B., Alotaibi M. Intelligent medical IoT-enabled automated microscopic image diagnosis of acute blood cancers // Sensors. – 2022. – T. 22. – №. 6. – C. 2348. DOI:10.3390/s22062348
- [8] Medovy, V. S., Volkov, G. D., Strela, N. M., & Pervushkin, I. V. An Adaptable Cloud-Based Multiple-Unit Laboratory Microscopy System // Biomedical Engineering. – 2021. – T. 55. – №. 1. – C. 36-40. <http://dx.doi.org/10.1007/s10527-021-10066-2>
- [9] Kaza N., Ojaghi A., Robles F.E. Virtual staining, segmentation, and classification of blood smears for label-free hematology analysis // BME frontiers. – 2022. DOI:10.34133/2022/9853606
- [10] Bagg A, Raess PW, Rund D, Bhattacharyya S, Wiszniewska J, Horowitz A, Jengehino D, Fan G, Huynh M, Sanogo A, Avivi I, Katz BZ. Performance Evaluation of a Novel Artificial Intelligence-Assisted Digital Microscopy System for the Routine Analysis of Bone Marrow Aspirates. Mod Pathol. 2024 Sep;37(9):100542. doi: 10.1016/j.modpat.2024.100542. Epub 2024 Jun 17. PMID: 38897451.
- [11] Koshkarov A.A., Murashko R.A., Elishev V.G., Shevkunov L.N., Frolova I.G., Choinzonov E.L., Dubrovin A.V., Umetsky I.N. Peculiarities of distributed storage of medical images in oncology service within the framework of creation of a unified digital circuit // Physician and Information Technology. 2020. №S1. P.15-27. DOI: 10.37690/1811-0193-2020-S1-15-27 (in Russian).
- [12] Tsutsui, S., Pang, W., Wen, B. WBCAtt: a white blood cell dataset annotated with detailed morphological attributes // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2024. – T. 36.
- [13] Bouchakwa M., Ayadi Y., Amous I. Application of image processing and convolutional neural networks for flood image classification and semantic segmentation // Environmental modelling & software. – 2022. – T. 148. – C. 105285.
- [14] Dutta A., Zisserman A. The VIA annotation software for images, audio and video // Proceedings of the 27th ACM international conference on multimedia. – 2019. – C. 2276-2279.
- [15] Park, S., Yu, S., Kim, J., Yoon, H. An all-in-one vehicle type and license plate recognition system using YOLOv4 // Sensors. – 2022. – T. 22. – №. 3. – C. 921.
- [16] Zhang, C., Loken, K., Chen, Z., Xiao, Z., Kunkel, G. Mask editor: an image annotation tool for image segmentation tasks // arXiv preprint arXiv:1809.06461. – 2018. abs/1809.06461.
- [17] Giovagnoli M.R., Giansanti D. Artificial intelligence in digital pathology: What is the future? Part 1: From the digital slide onwards // Healthcare. – MDPI, 2021. – T. 9. – №. 7. – C. 858. DOI:10.3390/healthcare9070858
- [18] GOST R 59921.2-2021 Artificial intelligence systems in clinical medicine. Part 1. Clinical evaluation. M., 2004. 7 s (in Russian)