

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ  
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
KAZAKHSTAN



**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION  
TECHNOLOGIES**

Published since 2020.  
Volume 7. 1 (25). 2026  
January–March

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ  
ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ**

2020 жылдан бері шығарылады  
Том 7. 1 (25). 2026  
Қаңтар-Наурыз

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И  
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Издается с 2020 г.  
Том 7. 1 (25). 2026  
Январь-Март

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Министерство информации и общественного развития Республики Казахстан № KZ82VPY00020475, выданное от 20.02.2020 г.

Зарегистрировано в Международном центре регистрации серийных изданий ISSN (ЮНЕСКО, Париж, Франция). ISSN 2708–2032 (print), ISSN 2708–2040 (online)

Журнал входит в Перечень научных изданий, рекомендуемых КОКНВО МНВО РК для публикации основных результатов научной деятельности.

#### EDITOR-IN-CHIEF:

**Kateryna Kolesnikova** — Doctor of Technical Sciences, professor, Vice-Rector for Research, International Information Technology University (Kazakhstan)

#### DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

**Madina Ipalakova** — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Director of the Research Department, International Information Technology University (Kazakhstan)

#### EDITORIAL BOARD:

**Abdul Razak** — PhD, professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Lucio Tommaso De Paolis** — Director of the R&D Department of the AVR Laboratory, Department of Engineering for Innovation, University of Salento (Italy)

**Liz Bacon** — Professor, Deputy Vice-Chancellor, Abertay University (United Kingdom)

**Michele Pagano** — PhD, Professor, University of Pisa (Italy)

**Mukhtarbay Otelbayev** — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, professor of the Department of Mathematical and Computer Modeling, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Bolatbek Rysbauly** — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, professor of the Department of Computing and Data Science, Astana IT University (Kazakhstan)

**Yevgeniya Daineko** — PhD, research professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Nurzhan Duzbayev** — PhD, associate professor, Vice-Rector for Digitalization and Innovation, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Bakhtgerci Sinchev** — Doctor of Technical Sciences, professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Nurgul Seilova** — Candidate of Technical Sciences, Dean of the Faculty of Computer Technologies and Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Ardak Mukhamediyeva** — Candidate of Economic Sciences, Dean of the Faculty of Business, Media and Management, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Zamira Abdikalikova** — PhD, associate professor, Head of the Department of Mathematical and Computer Modeling, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Yerlan Shildibekov** — PhD, associate professor, Head of the Department of Economics and Business, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Damilya Yeskendirova** — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Aigul Niyazgulova** — Candidate of Philological Sciences, Professor, Head of the Department of Media Communications and History of Kazakhstan, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Altai Aitmagambetov** — Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Yelena Bakhtiyarova** — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Kanibek Sansyzbay** — PhD, research professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Sakhybay Tynymbayev** — Candidate of Technical Sciences, Professor, Research Professor, Department of Computer Engineering, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Ali Abd Almisreb** — PhD, associate professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Mohamed Ahmed Hamada** — PhD, associate professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Yang Im Chu** — PhD, Professor, Gachon University (South Korea)

**Tadeusz Wallas** — PhD, Vice-Rector, Adam Mickiewicz University (Poland)

**Orken Mamyrbayev** — PhD, Deputy Director for Science, RSE Institute of Information and Computational Technologies, Committee for Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Kazakhstan)

**Sergey Bushuyev** — Doctor of Technical Sciences, professor, Director of the Ukrainian Project Management Association "UKRNET," Head of the Department of Project Management, Kyiv National University of Construction and Architecture (Ukraine)

**Svetlana Beloshitskaya** — Doctor of Technical Sciences, professor, Department of Computing and Data Science, Astana IT University (Kazakhstan)

#### MANAGING EDITOR

**Raushan Mrzabayeva** — Master of Science, editor, International Information Technology University (Kazakhstan)

---

International Journal of Information and Communication Technologies

Periodicity: 4 times a year.

Languages: Kazakh, Russian, English

DOI prefix: 10.54309

ISSN 2708-2032 (print)

ISSN 2708-2040 (online)

Thematic focus: "Information technology"; "Digital technologies in the development of socio-economic systems"; "Information security and communication technologies".

Distribution: Materials are distributed under the Creative Commons Attribution 4.0

Journal website: <https://journal.iitu.edu.kz>

Owner: International Information Technology University JSC (Almaty).

Copyright: © International Journal of Information and Communication Technologies, 2026

---

РЕДАКЦИЯ

БАС РЕДАКТОР:

**Колесникова Катерина Викторовна** — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің ғылыми-зерттеу қызметі жөніндегі проректор (Қазақстан)

БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЫ:

**Ипалакова Мадина Тулегеновна** — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің ғылыми-зерттеу қызметі жөніндегі департамент директоры (Қазақстан)

РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА:

- Разак Абдул** — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының профессоры (Қазақстан)  
**Луччо Томмазо де Паолис** — Саленто Университеті (Италия) инновация және технологиялық инжиниринг департаменті AVR зертханасының зерттеу және әзірлеу бөлімінің директоры  
**Лиз Бэкон** — профессор, Абертей Университеті (Ұлыбритания) вице-канцлерінің орынбасары  
**Микеле Пагано** — PhD, Пиза Университетінің (Италия) профессоры  
**Өтелбаев Мухтарбай Өтелбайұлы** — физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті математика және компьютерлік модельдеу кафедрасының профессоры (Қазақстан)  
**Рысбайұлы Болатбек** — физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Есептеу және деректер ғылымдары департаментінің профессоры, Astana IT University (Қазақстан)  
**Дайнеко Евгения Александровна** — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)  
**Дузаев Нуржан Тоқсулжанович** — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті цифрландыру және инновациялар жөніндегі проректор (Қазақстан)  
**Синчев Бахтгерей Куспанович** — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының профессоры (Қазақстан)  
**Сейлова Нургуль Абдуллаевна** — техника ғылымдарының докторы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті компьютерлік технологиялар және киберқауіпсіздік факультетінің деканы (Қазақстан)  
**Мухамедиева Ардак Габитовна** — экономика ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті бизнес медиа және басқару факультетінің деканы (Қазақстан)  
**Абдикаликова Замира Турсынбаевна** — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті математика және компьютерлік модельдеу кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)  
**Шильдибеков Ерлан Жаржанович** — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті экономика және бизнес кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)  
**Дамелия Максустовна Ескендрова** — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)  
**Ниязгулова Айгуль Аскарбековна** — филология ғылымдарының кандидаты, доцент, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті медиакоммуникация және Қазақстан тарихы кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)  
**Айтмағамбетов Алтай Зуфарович** — техника ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті радиотехника, электроника және телекоммуникация кафедрасының профессоры (Қазақстан)  
**Бахтиярова Елена Ажибековна** — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті радиотехника, электроника және телекоммуникация кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)  
**Канибек Сансызбай** — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)  
**Тынымбаев Сахибай** — техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті компьютерлік инженерия кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)  
**Алмисреб Али Абд** — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қазақстан)  
**Мохамед Ахмед Хамада** — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қазақстан)  
**Янг Им Чу** — PhD, Гачон университетінің профессоры (Оңтүстік Корея)  
**Талеуш Валлас** — PhD, Адам Мицкевич атындағы (Польша) университеттің проректоры  
**Мамырбаев Оркен Жумажанович** — PhD, ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті ақпараттық және есептеу технологиялары институты ӨМК директорының ғылым жөніндегі орынбасары (Қазақстан)  
**Бушув Сергей Дмитриевич** — техника ғылымдарының докторы, профессор, Украинаның "УКРНЕТ" жобаларды басқару қауымдастығының директоры, Киев ұлттық құрылыс және сулет университеті жобаларды басқару кафедрасының меңгерушісі (Украина)  
**Белюшицкая Светлана Васильевна** — техника ғылымдарының докторы, доцент, Astana IT University есептеу және деректер ғылымы кафедрасының профессоры (Қазақстан)

ЖАУАПТЫ РЕДАКТОР:

**Мрзабаева Раушан Жалиевна** — магистр, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің редакторы (Қазақстан)

Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Префикс DOI: 10.54309

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Басылым тілі: қазақ, орыс, ағылшын.

Тақырып бағыты: "Ақпараттық технологиялар"; "Ақпараттық қауіпсіздік және коммуникациялық технологиялар"; "Әлеуметтік-экономикалық жүйелерді дамытудағы цифрлық технология".

Журнал сайты: <https://journal.iitu.edu.kz>

Тарату: материалдар Creative Commons Attribution 4.0 лицензиясы бойынша таратылады

Меншік иесі: АҚ «Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті» (Алматы қ.).

Авторлық құқық: © Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы, 2026

РЕДАКЦИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

**Колесникова Катерина Викторовна** — доктор технических наук, профессор, проректор по научно-исследовательской деятельности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

**Ипалакова Мадина Тулегеновна** — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, директор департамента по научно-исследовательской деятельности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Разак Абдул** — PhD, профессор кафедры кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Лучио Томмазо де Паолис** — директор отдела исследований и разработок лаборатории AVR департамента инноваций и технологического инжиниринга Университета Саленто (Италия)

**Лиз Бэкон** — профессор, заместитель вице-канцлера Университета Абертей (Великобритания)

**Микеле Пагано** — PhD, профессор Университета Пизы (Италия)

**Отелбаев Мухтарбай Отелбайулы** — доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, профессор кафедры математического и компьютерного моделирования Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Рысбайулы Болатбек** — доктор физико-математических наук, профессор, профессор Astana IT University (Казахстан)

**Дайнеко Евгения Александровна** — PhD, профессор-исследователь кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Дузбаев Нуржан Токсуажевич** — PhD, ассоциированный профессор, проректор по цифровизации и инновациям Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Синчев Бахтгерей Куспанович** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Сейлова Нургуль Абадуллаевна** — кандидат технических наук, декан факультета компьютерных технологий и кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Мухамедиева Ардак Габитовна** — кандидат экономических наук, декан факультета бизнеса медиа и управления Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Абдикаликова Замира Турсынбаевна** — PhD, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой математического и компьютерного моделирования Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Шильдибеков Ерлан Жаржанович** — PhD, ассоциированный профессор, заведующий кафедрой экономики и бизнеса Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Дамеля Максютнова Ескендрова** — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Ниязгулова Айгуль Аскарбековна** — кандидат филологических наук, доцент, профессор, заведующая кафедрой медиакоммуникации и истории Казахстана Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Айтмагамбетов Алтай Зуфарович** — кандидат технических наук, профессор кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникаций Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Бахтиярова Елена Ажибековна** — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой радиотехники, электроники и телекоммуникаций Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Канибек Сансызбай** – PhD, ассоциированный профессор, профессор-исследователь кафедры кибербезопасности, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Тынымбаев Сахпай** – кандидат технических наук, профессор, профессор-исследователь кафедры компьютерной инженерии, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Алимурабаев Али Абд** — PhD, ассоциированный профессор кафедры кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Мохамед Ахмед Хамада** — PhD, ассоциированный профессор кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Янг Им Чу** — PhD, профессор университета Гачон (Южная Корея)

**Тадеуш Валлас** – PhD, проректор университета имен Адама Мицкевича (Польша)

**Мамырбаев Оркен Жумажанович** — PhD, заместитель директора по науке РГП Института информационных и вычислительных технологий Комитета науки МНВО РК (Казахстан)

**Бушуев Сергей Дмитриевич** — доктор технических наук, профессор, директор Украинской ассоциации управления проектами «УКРНЕТ», заведующий кафедрой управления проектами Киевского национального университета строительства и архитектуры (Украина)

**Белошницкая Светлана Васильевна** — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры вычислений и науки о данных Astana IT University (Казахстан)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР:

**Мрзабаева Раушан Жалиевна** — магистр, редактор Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Международный журнал информационных и коммуникационных технологий

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Префикс DOI: 10.54309

Периодичность: 4 выпусков в год.

Язык издания: казахский, русский, английский.

Тематическая направленность: "Информационные технологии"; "Информационная безопасность и коммуникационные технологии"; "Цифровые технологии в развитии социально-экономических систем".

Сайт журнала: <https://journal.iitu.edu.kz>

Распространение: материалы распространяются по лицензии Creative Commons Attribution 4.0

Собственник: АО «Международный университет информационных технологий» (г. Алматы).

Авторские права: © Международный журнал информационных и коммуникационных технологий, 2026

CONTENTS

DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS

**A.B. Zhalgas, Y.N. Kalpakov, B.Ye. Amirgaliyev**  
MACHINE LEARNING-DRIVEN OPTIMIZATION OF LOGISTICS IN SMART CITIES: A CASE STUDY OF ASTANA .....9

**L. Kurmangaziyeva, Sh. Kodanova, M. Urazgaliyeva, O. Findik, S. Iskakova**  
INTEGRATING FUZZY LOGIC AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN OPTIMIZING BUSINESS PROCESS AUTOMATION DECISIONS .....24

**Y. Mailybayev, U. Adilbayeva, R. Amanova**  
ORGANIZATION OF AN ONLINE SURVEY OF PARTICIPANTS IN THE EDUCATIONAL PROCESS AND ANALYSIS OF THE RESULTS BASED ON THE MODIFIED DELPHI METHOD .....46

**V.A. Takizhanov, A.Z. Ibragimov, A. Shalakhmetov**  
SIMULATION-BASED ROBUSTNESS ASSESSMENT OF ASTANA'S BUS NETWORK UNDER RANDOM AND TARGETED FAILURES .....61

INFORMATION TECHNOLOGY

**M. Zh. Aitimov, G. K. Muratova, Zh. K. Bissenbayeva, I.M. Bapiyev, M. Kassim**  
SEMANTIC COMPLETENESS IN KAZAKH-LANGUAGE EXTRACTIVE QA THROUGH ONTOLOGY AND RETRIEVAL MECHANISMS .....76

**O.N. Akylbekov, Y.T. Dauletbek, A.N. Moldagulova, G.S. Zakariya, D.A. Gura**  
MACHINE LEARNING METHODS FOR ANALYSING THREE-DIMENSIONAL SPATIAL DATA IN KAZAKHSTAN'S LAND USE PLANNING.....89

**S.Zh. Aliaskarov, R.K. Uskenbayeva, A. Razaque, A.B. Kassymova, A.M. Anartayeva**  
TOWARDS EFFICIENT BIG DATA ANALYTICS IN REGIONAL SYSTEMS: PRACTICAL INSIGHTS FROM HYBRID ARCHITECTURE DEPLOYMENT.....109

**A. Ismailova, G. Yessenbayeva, K. Kadyrkulov, R. Moldasheva, A. Amangeldi**  
DEVELOPMENT OF A HYBRID DEEP LEARNING MODEL FOR MULTICLASS CLASSIFICATION OF MICROSCOPIC IMAGES OF BACTERIA .....128

**G. Kalman, J. Kultan, A.N. Ismukamova, N.M. Ausilova, Y.V. Makhatova**  
A DOMAIN-KNOWLEDGE-BASED MODEL FOR REFERENCE RESOLUTION IN LOW-RESOURCE LANGUAGES .....141

**Y. Kamen, Zh. Yessendauletova, L. Fazylova, M. Rakhimzhanova, A.M. Nedzved**  
USING NEURAL NETWORKS FOR OBJECTIVE ASSESSMENT OF ATTENTION IN CHILDREN BASED ON EEG DATA .....158

**A.Ye. Kulakayeva, Ye.A. Bakhtiyarova, G.T. Jakanova, Sh. Nursultan**  
COMPARATIVE ANALYSIS OF VARIOUS RADIO WAVE PROPAGATION MODELS FOR MOBILE NETWORK COVERAGE PREDICTION .....173

**M.B. Nurpeissova, Sh.K. Aitkazinova, A.M. Abenov, N.S. Donenbayeva**  
METHODOLOGY FOR TRANSFORMING SATELLITE COORDINATES INTO A TOPOCENTRIC RECTANGULAR COORDINATE SYSTEM .....189

**A. Ospanov, P. Alonso-Jordá, A. Zhumadillayeva**  
BLOCKCHAIN-ENABLED ERP WAREHOUSE INTEGRATION WITH IOT DIMENSIONERS AND MACHINE LEARNING-OPTIMIZED DIMENSIONAL WEIGHT RECONCILIATION .....202

**A.A. Sakhipov, R.B. Seitbek**  
EVENT-DRIVEN MICROSERVICES FOR INCIDENT DETECTION AND RESPONSE IN INTELLIGENT TRAFFIC SYSTEM .....218

**G. Yusupova, K.S. Shadinova, D. Ussipbekova, Zh.Zh. Azhibekova, P. Schmidt**  
DETERMINATION OF SOIL PROFILE STRATIFICATION AT 0–200 CM DEPTH USING A MULTILEVEL STACKING MODEL .....231

INFORMATION SECURITY AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

<b>S.A. Adilzhanova, M.Zh. Sakypbekova, L.Sh. Cherikbaeva, G.A. Tyulepberdinova, G.T. Zhubanysheva</b> SYSTEMATIC ANALYSIS OF RISK ASSESSMENT METHODS AND MODELS IN INFORMATION SECURITY.....	244
<b>T. K. Zhukabayeva, D.B. Baumuratova, E. Benkhelifa, N.A. Niyetbayeva</b> EDGE COMPUTING-BASED TECHNIQUE FOR CONSTRUCTION OF ATTACK DETECTION MEANS IN CYBER-PHYSICAL SYSTEMS OF INDUSTRIAL INTERNET-OF-THINGS .....	270
<b>N.E. Karabayev, S.K. Serikbayeva, Y.M. Mardenov, B. Tassuov, M. Fajkus</b> DETECTION OF CYBER ATTACKS IN TRANSPORT NETWORKS BASED ON MACHINE LEARNING METHODS .....	292
<b>V.A. Kumalakov, A.O. Dargulova</b> A HYBRID FRAMEWORK FOR RESUME-JOB MATCHING SYSTEM .....	311
<b>V. Makhatova, B. Dzhugembayeva, A. Gabdulova, L. Nurgaliyeva, A. Abdigaliyeva</b> MATHEMATICAL MODEL FOR OPTIMAL SENSOR SELECTION IN SIEM SYSTEMS USING THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS .....	326

## МАЗМҰНЫ

### ӘЛЕУМЕТТІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ДАМУДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

<b>А.Б. Жалғас, Е.Н. Калпаков, Б.Е. Амиргалиев</b> АҚЫЛДЫ ҚАЛАЛАРДАҒЫ ЛОГИСТИКАНЫ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУҒА НЕГІЗДЕЛГЕН ОҢТАЙЛАНДЫРУ: АСТАНАНЫҢ ЖАҒДАЙЫН ЗЕРТТЕУ.....	9
<b>Л.Курманғазиева, Ш. Қоданова, М. Уразғалиева, О. Findik, С. Искакова</b> ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ПЕН АЙҚЫН ЕМЕС ЛОГИКАНЫ БІРІКТІРУ АРҚЫЛЫ БИЗНЕС-ПРОЦЕСТЕРДІ АВТОМАТТАНДЫРУ ШЕШІМДЕРІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ .....	24
<b>Е. Майлыбаев, У. Адилбаева, Р. Аманова</b> ҰЙЫМДАСТЫРЫЛҒАН ОНЛАЙН САУАЛНАМА АРҚЫЛЫ БІЛІМ БЕРУ ПРОЦЕСІНЕ ҚАТЫСУШЫЛАРДЫҢ ПІКІРЛЕРІН ЖИНАУ ЖӘНЕ НӘТИЖЕЛЕРІН МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ДЕЛЬФИ ӘДІСІ НЕГІЗІНДЕ ТАЛДАУ .....	46
<b>В.А. Такижанов, А.Ж. Ибрагимов, А. Шалахметов</b> МОДЕЛЬДЕУ НЕГІЗІНДЕ АСТАНАНЫҢ АВТОБУС ЖЕЛІСІНІҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН БАҒАЛАУ: КЕЗДЕЙСОҚ ЖӘНЕ МАҚСАТТЫ ІСТЕН ШЫҒУЛАР ЖАҒДАЙЫНДА .....	61

### АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

<b>М.Ж. Айтимов, Г.К. Муратова, Ж.К. Бисенбаева, И.М. Бапиев, М. Кассим</b> ОНТОЛОГИЯ ЖӘНЕ ІЗДЕУ МЕХАНИЗМДЕРІ АРҚЫЛЫ ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕГІ ЭКСТРАКЦИЯЛЫҚ ҚАДАҒЫ СЕМАНТИКАЛЫҚ ТОЛЫҚТЫҚ .....	76
<b>О.Н. Ақылбеков, Е.Т. Даулетбек, А.Н. Молдагулова, Г.С. Закария, Д.А. Гура</b> ҚАЗАҚСТАННЫҢ АУМАҚТЫҚ ЖОСПАРЛАУЫНДАҒЫ ҮШ ӨЛШЕМДІ КЕҢІСТІКТІК МӨЛІМЕТТЕРДІ ТАЛДАУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІ .....	89
<b>С.Ж. Алиасқаров, Р.К. Ускенбаева, А. Разак, А.Б. Қасымов, А.М. Анартаева</b> АЙМАҚТЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ ҮЛКЕН ДЕРЕКТЕРДІ ТИІМДІ ТАЛДАУҒА ҚАРАЙ: ГИБРИДТІ АРХИТЕКТУРАНЫ ЕНГІЗУДІҢ ПРАКТИКАЛЫҚ ТҮСІНІКТЕР.....	109
<b>А.А. Исмаилова, Г.Р. Есенбаева, Қ.К. Кадиркулов, Р.Н. Молдашева, А. Амангелді</b> РОСКОПИЯЛЫҚ БЕЙНЕЛЕРІН КӨПКЛАССТЫ ЖІКТЕУГЕ АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ ТЕРЕҢ ОҚЫТУ МОДЕЛІН ӘЗІРЛЕУ .....	128
<b>Г. Қалман, К. Ярослав, А.Н. Исмуканова, Н.М. Аусилова, В.Е. Махатова</b> ПӨНДІК САЛА БІЛІМ НЕГІЗІНДЕ РЕУСРСТАРЫ АЗ ТІЛДЕРДЕГІ РЕФЕРЕНЦИЯНЫ ШЕШУДІҢ МОДЕЛІ.....	141
<b>Е.Г. Кәмен, Ж.Т. Есендаулетова, Л.С. Фазылова, М.Б. Рахимжанова, А.М. Недзьведь</b> ЭЭГ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША БАЛАЛАРДЫҢ ЗЕЙІНІН ОБЪЕКТИВТІ БАҒАЛАУ ҮШІН НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІЛЕРДІ ҚОЛДАНУ .....	158
<b>А.Е. Кулакаева, Е.А. Бахтиярова, Г.Т. Джаканова, Ш. Нурсултан</b> ҰЯЛЫ БАЙЛАНЫС ЖЕЛІЛЕРІНІҢ ҚАМТУ АЙМАҒЫН БОЛЖАУҒА АРНАЛҒАН ӨРТҮРЛІ РАДИОТОЛҚЫН ТАРАЛУ МОДЕЛЬДЕРІНІҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ .....	173

**М.Б. Нұрпейісова, Ш.Қ. Айтқазынова, А.М. Абенев, Н.С. Дөненбаева**  
СПУТНИКТИК КООРДИНАТТАРДЫ ТОПОЦЕНТРЛІК ТІК БҰРЫШТЫ КООРДИНАТТАР ЖҮЙЕСІНЕ ТҮРЛЕНДІРУДІҢ ӘДІСТЕМЕСІ .....189

**А. Оспанов, П. Алонсо-Хорда, А. Жұмаділлаева**  
БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИЯСЫМЕН ЫҚПАЛДАС ERP ҚОЙМА ЖҮЙЕСІН ІОТ ДИМЕНСИОНЕРЛЕР ЖӘНЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АРҚЫЛЫ ОПТИМИЗАЦИЯЛАНҒАН ӨЛШЕМДІ САЛМАҚ ЕСЕПТЕУМЕН ИНТЕГРАЦИЯЛАУ .....202

**А.А. Сахипов, Р.Б. Сейітбек**  
ОҚИҒАҒА БАҒДАРЛАНҒАН МИКРОҚЫЗМЕТТЕР ЖҮЙЕСІ АРҚЫЛЫ АҚЫЛДЫ ТРАФИК ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ ОҚИҒАЛАРДЫ АНЫҚТАУ ЖӘНЕ ШАРАЛАР ҚОЛДАНУ .....218

**Г.М. Юсупова, К.С. Шадинова, Д.И. Усипбекова, Ж.Ж. Ажибекова, Р. Schmidt**  
ТОПЫРАҚ ПРОФИЛІНІҢ 0–200 СМ ТЕРЕҢДІКТЕГІ СТРАТИФИКАЦИЯСЫН КӨПДЕҢГЕЙЛІ СТЕКИНГ-МОДЕЛІМЕН АНЫҚТАУ.....231

**АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРҒА АРНАЛҒАН**

**С.А. Адилжанова, М.Ж. Сақыпбекова, Л.Ш. Черикбаева, Г.А. Тюлепбердинова, Г.Т. Жубанышева**  
АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІКТЕ ТӘУЕКЕЛДЕРДІ БАҒАЛАУ ӘДІСТЕРІ МЕН МОДЕЛЬДЕРІН ЖҮЙЕЛІ ТАЛДАУ.....244

**Т.К. Жукабаева, Д. Б. Баумуратова, Е. Бенкхелифа, Н.А. Ниегбаева**  
ШЕКАРАЛЫҚ ЕСЕПТЕУЛЕРДІ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ЗАТТАРДЫҢ ӨНЕРКӘСІПТІК ИНТЕРНЕТІНІҢ КИБЕРФИЗИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ ШАБУЫЛДАРДЫ АНЫҚТАУ ҚҰРАЛДАРЫН ҚҰРУ ӘДІСТЕМЕСІ.....270

**Н.Е. Қарабаев, С.К. Серикбаева, Е.М. Марденов, Б. Тасуов, М. Файкус**  
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН КӨЛІК ЖЕЛІЛЕРІНДЕГІ КИБЕРШАБУЫЛДАРДЫ АНЫҚТАУ .....292

**Б.А. Кумалаков, А.О. Даргулова**  
ТҮЙІНДЕМЕЛЕР МЕН ВАКАНСИЯЛАРДЫ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН СӘЙКЕСТЕНДІРУГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ГИБРИДТІ ҮМІТКЕРЛЕРДІ ІРІКТЕУ ЖҮЙЕСІ .....311

**В. Махатова, Б. Джугембаева, А. Габдулова, Л. Нурғалиева, А. Абдигалиева**  
ИЕРАРХИЯЛАРДЫ ТАЛДАУ ӘДІСІ НЕГІЗІНДЕ SIEM ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ ОҢТАЙЛЫ СЕНСОРДЫ ТАҢДАУДЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ .....326

**СОДЕРЖАНИЕ**

**ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗВИТИИ СОЦИО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**А.Б. Жалғас, Е.Н. Калпаков, Б.Е. Амиргалиев**  
ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОГИСТИКИ В УМНЫХ ГОРОДАХ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ: НА ПРИМЕРЕ АСТАНЫ .....9

**Л. Курмангазиева, Ш. Коданова, М. Уразғалиева, О. Финдик, С. Исакова**  
ИНТЕГРАЦИЯ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕШЕНИЙ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ .....24

**Е. Майлыбаев, У. Адилбаева, Р. Аманова**  
СБОР МНЕНИЙ УЧАСТНИКОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПОСРЕДСТВОМ ОРГАНИЗОВАННОГО ОНЛАЙН-АНКЕТИРОВАНИЯ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА ДЕЛЬФИ .....46

**В.А. Такижанов, А.Ж. Ибрагимов, А. Шалахметов**  
ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ АВТОБУСНОЙ СЕТИ АСТАНЫ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ СЛУЧАЙНЫХ И ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫХ ОТКАЗАХ .....61

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**М.Ж. Айтимов, Г.К. Муратова, Ж.К. Бисенбаева, И.М. Бапиев, М. Кассим**  
СЕМАНТИЧЕСКАЯ ПОЛНОТА В КАЗАХСКОЯЗЫЧНОМ EXTRACTIVE QA ЧЕРЕЗ ОНТОЛОГИЮ И RETRIEVAL-МЕХАНИЗМЫ .....76

<b>О.Н. Акылбеков, Е.Т. Даулетбек, А.Н. Молдагулова, Г.С. Закария, Д.А. Гура</b> МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ТРЁХМЕРНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ В ТЕРРИТОРИАЛЬНОМ ПЛАНИРОВАНИИ КАЗАХСТАНА .....	89
<b>С.Ж. Алиаскаров, Р.К. Ускенбаева, А. Разак, А.Б. Касымова, А.М. Анартаева</b> НА ПУТИ К ЭФФЕКТИВНОЙ АНАЛИТИКЕ БОЛЬШИХ ДАННЫХ В РЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ: ПРАКТИЧЕСКИЕ ВЫВОДЫ ИЗ ВНЕДРЕНИЯ ГИБРИДНОЙ АРХИТЕКТУРЫ .....	109
<b>А.А. Исмаилова, Г.Р. Есенбаева, К.К. Кадиркулов, Р.Н. Молдашева, А. Амангелды</b> РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОЙ МОДЕЛИ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ МНОГОКЛАССОВОЙ КЛАССИФИКАЦИИ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ БАКТЕРИЙ .....	128
<b>Г. Калман, К. Ярослав, А.Н. Исмуканова, Н.М. Аусилова, В.Е. Махатова</b> МОДЕЛЬ НА ОСНОВЕ ЗНАНИЙ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ РАЗРЕШЕНИЯ КОРЕФЕРЕНЦИИ В МАЛОРЕСУРСНЫХ ЯЗЫКАХ .....	141
<b>Е.Г. Камен, Ж.Т. Есендаулетова, Л.С. Фазылова, М.Б. Рахимжанова, А.М. Недзьведь</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ ВНИМАНИЯ У ДЕТЕЙ ПО ДАНЫМ ЭЭГ .....	158
<b>А.Е. Кулакаева, Е.А. Бахтиярова, Г.Т. Джаканова, Ш. Нурсултан</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЯ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ .....	173
<b>М.Б. Нурпенсова, Ш.К. Айтказинова, А.М. Абеннов, Н.С. Доненбаева</b> МЕТОДИКА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ КООРДИНАТ В ТОПОЦЕНТРИЧЕСКУЮ ПРЯМОУГОЛЬНУЮ СИСТЕМУ КООРДИНАТ .....	189
<b>А. Оспанов, П. Алонсо-Хорда, А. Жумадиллаева</b> ИНТЕГРАЦИЯ СКЛАДСКИХ МОДУЛЕЙ ERP-СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЛОКЧЕЙНА, IOT- ДИМЕНСИОНЕРОВ И ОПТИМИЗИРОВАННОГО МАШИНЫМ ОБУЧЕНИЕМ РАСЧЁТА ГАБАРИТНО- ГО ВЕСА .....	202
<b>А.А. Сахипов, Р.Б. Сейитбек</b> СОБЫТИЯ-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ МИКРОСЕРВИСЫ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И РЕАГИРОВАНИЯ НА ИНЦИДЕНТЫ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ .....	218
<b>Г.М. Юсупова, К.С. Шадинова, Д.И. Усипбекова, Ж.Ж. Ажибекова, П. Шмидт</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРАТИФИКАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПРОФИЛЯ НА ГЛУБИНЕ 0–200 СМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ МНОГОУРОВНЕВОГО НАЛОЖЕНИЯ .....	231

## ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

<b>С.А. Адилжанова, М.Ж. Сакыпбекова, Л.Ш. Черикбаева, Г.А. Тюлепбердинова, Г.Т. Жубанышева</b> СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ .....	244
<b>Т.К. Жукабаева, Д.Б. Баумуратова, Е. Бенкхелифа, Н.А. Ниетбаева</b> МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ СРЕДСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ АТАК В КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ .....	270
<b>Н.Е. Карабаев, С.К. Серикбаева, Е.М. Марденов, Б. Тасуов, М. Файкус</b> ОБНАРУЖЕНИЕ КИБЕРАТАК В ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ .....	292
<b>Б.А. Кумалаков, А.О. Даргулова</b> ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ПОДБОРУ КАНДИДАТОВ НА ОСНОВЕ СОПОСТАВЛЕНИЯ РЕЗЮМЕ И ВАКАНСИЙ .....	311
<b>В. Махатова, Б. Джугембаева, А. Габдулова, Л. Нургалиева, А. Абдигалиева</b> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО СЕНСОРА В SIEM-СИСТЕМАХ СРЕДСТВАМИ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ .....	326

INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Vol. 7. Is.1. Number 25 (2026). Pp. 128–140

Journal homepage: <https://journal.iitu.edu.kz>

<https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.008>

УДК 004.931

## DEVELOPMENT OF A HYBRID DEEP LEARNING MODEL FOR MULTI-CLASS CLASSIFICATION OF MICROSCOPIC IMAGES OF BACTERIA

*A. Ismailova<sup>1</sup>, G. Yessenbayeva<sup>1\*</sup>, K. Kadyrkulov<sup>2</sup>, R. Moldasheva<sup>3</sup>, A. Amangeldi<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Smart Soft Kazakhstan LLP, Astana, Kazakhstan;

<sup>3</sup>Atyrau University named after H. Dosmukhamedov, Atyrau, Kazakhstan.

E-mail: [gulbanu210596@gmail.com](mailto:gulbanu210596@gmail.com)

**Aisulu Ismailova** — PhD, Associate Professor, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical Research University, Astana, Kazakhstan

E-mail: [a.ismailova@mail.ru](mailto:a.ismailova@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8958-1846>;

**Gulbanu Yessenbayeva** — Doctoral student, Department of Information Systems, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan

E-mail: [gulbanu210596@gmail.com](mailto:gulbanu210596@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0006-6371-4571>;

**Kuanys Kadyrkulov** — PhD, Director of «Smart Soft Kazakhstan» LLP, Astana, Kazakhstan

E-mail: [kkuanys@gmail.com](mailto:kkuanys@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-0506-4890>;

**Raushan Moldasheva** — PhD, Acting Associate Professor, Department of Software Engineering, Atyrau University named after H. Dosmukhamedov, Atyrau, Kazakhstan

E-mail: [raushan85\\_07@mail.ru](mailto:raushan85_07@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4570-0487>;

**Ardak Amangeldi** — Senior Lecturer, Department of Software Engineering, Atyrau University named after H. Dosmukhamedov, Atyrau, Kazakhstan

E-mail: [ardak\\_aman@mail.ru](mailto:ardak_aman@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0000-5889-0593>.

© A. Ismailova, G. Yessenbayeva, K. Kadyrkulov, R. Moldasheva, A. Amangeldi

**Abstract.** This study investigates the problem of automatic multiclass classification of microscopic bacterial images. The experimental dataset consists of 2034 microscopy images covering 33 bacterial taxa. To ensure methodological reliability, the dataset was carefully verified and divided into independent training, validation, and test subsets using a strict protocol designed to eliminate potential information leakage. To describe image quality and structural characteristics, a set of quantitative proxy features was extracted, including brightness, contrast, Shannon entropy, Laplacian variance, and Sobel gradient energy. The discriminative ability of these features across bacterial classes was assessed using the Kruskal–Wallis statistical test, which confirmed



significant inter-class differences. Classification performance was evaluated using both conventional machine learning algorithms and modern deep learning architectures. Furthermore, a hybrid deep learning framework based on multiple instance learning was developed to aggregate local structural patterns within microscopic images more effectively. Experimental results demonstrate that the proposed methodology enhances classification accuracy and improves robustness across diverse bacterial taxa.

**Keywords:** microscopic images, bacterial classification, multiclass classification, deep learning, multiple instance learning, hybrid model

**Conflict of interest:** A. Ismailova, G. Yessenbayeva, K. Kadyrkulov, R. Moldasheva, A. Amangeldi (2026). Development of a hybrid deep learning model for multiclass classification of microscopic images of bacteria // International journal of information and communication technologies. Vol. 7. No. 25. Pp. 128–140. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.008>. (In Kaz.).

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

## БАКТЕРИЯЛАРДЫҢ МИКРОСКОПИЯЛЫҚ БЕЙНЕЛЕРІН КӨПКЛАССТЫ ЖІКТЕУГЕ АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ ТЕРЕҢ ОҚИТУ МОДЕЛІН ӘЗІРЛЕУ

*А.А.Исмаилова<sup>1</sup>, Г.Р.Есенбаева<sup>1\*</sup>, К.К.Кадирқұлов<sup>2</sup>, Р.Н.Молдашева<sup>3</sup>, А.Амангелді<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан;

<sup>2</sup> Smart Soft Kazakhstan ЖШС, Астана, Қазақстан;

<sup>3</sup> Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан.

E-mail: [gulbanu210596@gmail.com](mailto:gulbanu210596@gmail.com)

**Исмаилова Айсулу Абжаппаровна** — PhD, қауымдастырылған профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан  
E-mail: [a.ismailova@mail.ru](mailto:a.ismailova@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8958-1846>;

**Есенбаева Гүлбану Рақымжанқызы** — С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, «Ақпараттық жүйелер» кафедрасының докторанты, Астана, Қазақстан

E-mail: [gulbanu210596@gmail.com](mailto:gulbanu210596@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0006-6371-4571>;

**Кадирқұлов Қуаныш Кайсарович** — PhD, «Smart Soft Kazakhstan» ЖШС директоры. Астана, Қазақстан

E-mail: [kkuanysh@gmail.com](mailto:kkuanysh@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-0506-4890>;

**Молдашева Раушан Нуркожаевна** — Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, «Бағдарламалық инженерия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры м.а., PhD. Атырау қ., Қазақстан

E-mail: [raushan85\\_07@mail.ru](mailto:raushan85_07@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4570-0487>;

**Амангелді Ардақ Амангелдіқызы** — Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, «Бағдарламалық инженерия» кафедрасының аға оқытушысы,

Атырау, Қазақстан

E-mail: ardak\_aman@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-5889-0593>.

© А.А. Исмаилова, Г.Р. Есенбаева, К.К. Кадиркулов, Р.Н. Молдашева, А. Амангелді

**Аннотация.** Бұл зерттеу микроскопиялық бактерия суреттерін автоматты түрде көпкластық жіктеу мәселесіне арналған. Жұмыста 33 бактериялық таксонды қамтитын 2034 микроскопиялық кескіннен тұратын деректер жиыны пайдаланылды. Эксперименттің дұрыстығын қамтамасыз ету үшін деректердің тұтастығы тексеріліп, ақпараттың ағып кетуін болдырмау мақсатында оқыту, валидация және тест жиынтықтарына қатаң түрде бөлінді. Кескіндердің сапалық және құрылымдық сипаттамаларын сандық тұрғыдан бағалау үшін бірқатар көрсеткіштер есептелді: жарықтылық, контраст, Шеннон энтропиясы, Лапласиан дисперсиясы және Собель градиентінің энергиясы. Бұл белгілердің кластар арасындағы айырмашылық қабілеті Краскел–Уоллис критерийі арқылы талданып, таксондар арасында статистикалық тұрғыдан мәнді айырмашылықтардың бар екені анықталды. Жіктеу сапасы дәстүрлі машиналық оқыту алгоритмдерімен қатар заманауи терең оқыту архитектураларының көмегімен бағаланды. Сонымен қатар микроскопиялық кескіндердегі жергілікті құрылымдық ерекшеліктерді тиімді біріктіруге мүмкіндік беретін multiple instance learning әдісіне негізделген гибриді модель ұсынылды. Эксперимент нәтижелері ұсынылған тәсілдің жіктеу дәлдігін арттырып, нәтижелердің тұрақтылығын жақсартатынын көрсетті.

**Түйін сөздер:** микроскопиялық бейнелер, бактерияларды жіктеу, көпклассты классификация, терең оқыту, көпінстанстық оқыту, гибриді модель

**Дәйексөздер үшін:** А.А. Исмаилова, Г.Р. Есенбаева, К.К. Кадиркулов, Р.Н. Молдашева, А. Амангелді (2026). Бактериялардың микроскопиялық бейнелерін көпклассты жіктеуге арналған гибриді терең оқыту моделін әзірлеу // Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы. Т. 7. № 25. Б. 128–140. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.008>. (Қаз. тіл.).

**Мүдделер қақтығысы:** Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

**Алғыс.** Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (Грант № AP32721703 Қайталануларды пангеномдық талдау, карталау және когорталарда салыстыруға арналған RepeatAtlas платформасын әзірлеу).

## РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОЙ МОДЕЛИ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ МНОГОКЛАССОВОЙ КЛАССИФИКАЦИИ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ БАКТЕРИЙ

А.А. Исмаилова<sup>1</sup>, Г.Р. Есенбаева<sup>1\*</sup>, К.К. Кадиркулов<sup>2</sup>, Р.Н. Молдашева<sup>3</sup>,  
А. Амангелды<sup>3</sup>



<sup>1</sup>Казахский агротехнический исследовательский университет имени

С. Сейфуллина, Астана, Казахстан;

<sup>2</sup>ТОО «Smart Soft Kazakhstan», Астана, Казахстан;

<sup>3</sup>Атырауский университет им. Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан.

E-mail: gulbanu210596@gmail.com

**Исмаилова Айсулу Абжаппаровна** — PhD, ассоциированный профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, Казахстан

E-mail: a.ismailova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8958-1846>;

**Есенбаева Гульбану Ракымжановна** — докторант кафедры «Информационные системы», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, Казахстан

E-mail: gulbanu210596@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-6371-4571>;

**Кадиркулов Куаныш Кайсарович** — PhD, директор ТОО «Smart Soft Kazakhstan», Астана, Казахстан

E-mail: kkuanysh@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0506-4890>;

**Молдашева Раушан Нуркожаевна** — PhD, Атырауский университет имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан

E-mail: raushan85\_07@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4570-0487>;

**Амангелды Ардак Амангелдиевна** — старший преподаватель кафедры «Программная инженерия», Атырауский университет имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан

E-mail: ardak\_aman@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-5889-0593>.

© А.А. Исмаилова, Г.Р. Есенбаева, К.К. Кадиркулов, Р.Н. Молдашева, А. Амангелды

**Аннотация.** Данное исследование посвящено задаче автоматической многоклассовой классификации микроскопических изображений бактерий. В работе использован набор данных, включающий 2034 микроскопических изображения, представляющих 33 таксономические группы бактерий. Для обеспечения корректности эксперимента была проведена проверка целостности данных, а также выполнено строгое разбиение на обучающую, валидационную и тестовую выборки с целью исключения утечки информации. Для количественного описания качества и структурных характеристик изображений были вычислены следующие признаки: яркость, контраст, энтропия Шеннона, дисперсия Лапласиана и энергия градиента Собеля. Их различающая способность между классами была проанализирована с использованием критерия Краскела–Уоллиса, что подтвердило статистически значимые различия между таксонами. Качество классификации оценивалось с применением как классических алгоритмов машинного обучения, так и современных архитектур глубокого обучения. Дополнительно была разработана гибридная модель на основе метода multiple instance learning, позволяющая более эффективно учитывать локальные

структурные особенности микроскопических изображений. Полученные экспериментальные результаты свидетельствуют о повышении устойчивости и точности классификации при использовании предложенного подхода.

**Ключевые слова:** микроскопические изображения, классификация бактерий, многоклассовая классификация, глубокое обучение, множественное экзemplярное обучение, гибридная модель

**Для цитирования:** А.А. Исмаилова, Г.Р. Есенбаева, К.К. Кадиркулов, Р.Н. Молдашева, А. Амангелды (2026). Разработка гибридной модели глубокого обучения для многоклассовой классификации микроскопических изображений бактерий // Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. Т. 7. No. 25. Стр. 128–140. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.008>.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Благодарность.** Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант No AP32721703 Разработка платформы RepeatAtlas для пангеномного анализа, картирования и сравнения повторов в когортах).

## Кіріспе.

Соңғы жылдары микробиологиялық диагностикада цифрлық микроскопия мүмкіндіктерін кеңінен пайдалану үрдісі байқалады. Зертханалық тәжірибеде бактериялардың микроскопиялық бейнелерін талдау ауру қоздырғыштарын анықтау мен олардың морфологиялық ерекшеліктерін сипаттауда маңызды орын алады. Дегенмен дәстүрлі визуалды бағалау әдістері маманның тәжірибесіне тікелей тәуелді болып, нәтижелердің субъективтілігіне және уақыт шығындарының артуына әкелуі мүмкін (Shu және т.б., 2022; Zhang және т.б., 2021). Осы себепті микроскопиялық кескіндерді автоматтандырылған өңдеу мен жіктеу әдістерін дамыту ғылыми және практикалық тұрғыдан өзекті бағыттардың біріне айналды. Компьютерлік көру және машиналық оқыту тәсілдері микроскопиялық бейнелерден морфологиялық, құрылымдық және текстуралық сипаттамаларды сандық түрде бөліп алуға мүмкіндік береді. Алғашқы зерттеулерде бактерияларды жіктеу үшін алдын ала есептелетін белгілерге сүйенген классикалық алгоритмдер қолданылды. Олардың қатарында тірек векторлар әдісі, шешім ағаштары және градиенттік бустинг модельдері бар (Pádua және т.б., 2020; Deng және т.б., 2022). Бұл тәсілдер белгілі бір жағдайларда қанағаттанарлық нәтиже бергенімен, күрделі визуалды құрылымдарды толық қамтуда және деректердің ішкі алуан түрлілігін ескеруде шектеулерге ие.

Соңғы кезеңде терең оқыту әдістері, әсіресе конволюциялық нейрондық желілер, бейнелерді талдау міндеттерінде кеңінен қолданыла бастады. Мұндай модельдер кескіндерден жоғары деңгейлі белгілерді автоматты түрде үйреніп, медициналық визуализация саласында тиімділігін көрсетті (Esteva және т.б., 2019; Huang және т.б., 2023). Алайда микроскопиялық деректерге қатысты бірқа-

тар ерекшеліктер бар: деректер көлемінің шектеулі болуы, әртүрлі таксондар арасындағы морфологиялық ұқсастық және түсірілім шарттарының өзгермелілігі модельдердің жалпылау қабілетіне әсер етуі мүмкін (Tan және т.б., 2025; Li және т.б., 2022). Осы қиындықтарды еңсерудің бір жолы ретінде көпинстанстық оқыту тәсілі қарастырылады. Бұл әдісте бір кескін бірнеше локалдык аймақтардың жиынтығы ретінде ұсынылып, модель маңызды құрылымдық фрагменттерді өздігінен анықтай алады (Ise және т.б., 2018; Campanella және т.б., 2019). Әсіресе микроскопиялық және патологиялық бейнелерде барлық аймақтар бірдей ақпарат бермейтіндіктен, мұндай тәсілдің артықшылығы айқын көрінеді. Сонымен қатар соңғы еңбектерде терең оқыту модельдерін қолмен есептелетін сапалық және текстуралық көрсеткіштермен біріктірудің модель тұрақтылығын арттырып, әртүрлі деректер жиынтықтарына бейімделуін жақсартатыны көрсетілген (Zhang және т.б., 2023; Deng және т.б., 2024). Бұл тәсілдер бейненің жалпы құрылымдық ерекшеліктерін де, локалдык сипаттамаларын да қатар ескеруге мүмкіндік береді.

Осы жұмыстың мақсаты – бактериялардың микроскопиялық бейнелерін көпклассты жіктеуге арналған гибриді терең оқыту моделін әзірлеу және оның тиімділігін қатаң ұйымдастырылған эксперименттік протокол негізінде бағалау. Ұсынылған әдіс классикалық машиналық оқыту алгоритмдерімен және заманауи терең нейрондық желілермен салыстырылып, алынған нәтижелердің тұрақтылығы мен практикалық құндылығы жан-жақты талданады.

### **Әдістер мен материалдар.**

Зерттеу барысында бактериялардың микроскопиялық бейнелерін автоматты түрде көпклассты жіктеу міндетін орындау үшін ашық қолжетімді деректер жиыны қолданылды. Деректер базасы 33 бактериялық таксонға тиесілі 2034 RGB форматындағы микроскопиялық кескіннен тұрады. Бейнелер кластар бойынша жүйеленген. Эксперимент нәтижелерінің дұрыстығын қамтамасыз ету үшін барлық файлдардың жарамдылығы тексеріліп, бүлінген немесе оқылмайтын деректер анықталған жоқ. Кластар арасындағы үлестірім шамамен теңгерімді, бұл оқыту барысында айқын дисбаланс қаупін азайтады (Ching және т.б., 2018). Деректерді бөлу кезінде қатаң әдіснамалық қағидаттар сақталды. Бейнелер оқыту, валидация және тест жиынтықтарына өзара тәуелсіз түрде бөлінді. Әрбір кескін тек бір жиынтыққа ғана енгізілді. Сонымен қатар бір көзден алынған немесе мазмұны ұқсас бейнелердің әртүрлі жиынтықтарға түсуіне жол берілмеді. Мұндай тәсіл ақпараттың ағып кету ықтималдығын төмендетіп, модельдердің жалпылау қабілетін шынайы бағалауға мүмкіндік береді (Vargoаах және т.б., 2017).

Микроскопиялық кескіндердің сапалық және құрылымдық сипаттамаларын сандық тұрғыдан бағалау үшін бірқатар көрсеткіштер есептелді. Олардың қатарында орташа жарықтылық, контраст, Шеннон энтропиясы, Лапласиан дисперсиясы және Собель операторы негізінде анықталған градиент энергиясы бар. Бұл параметрлер кескіннің айқындығын, текстуралық күрделілігін және визуалды ақпараттың қанықтылығын сипаттайды (Gonzalez & Woods, 2018; Redmon және т.б., 2016). Белгілердің әртүрлі кластар бойынша айырмашылығын бағалау үшін

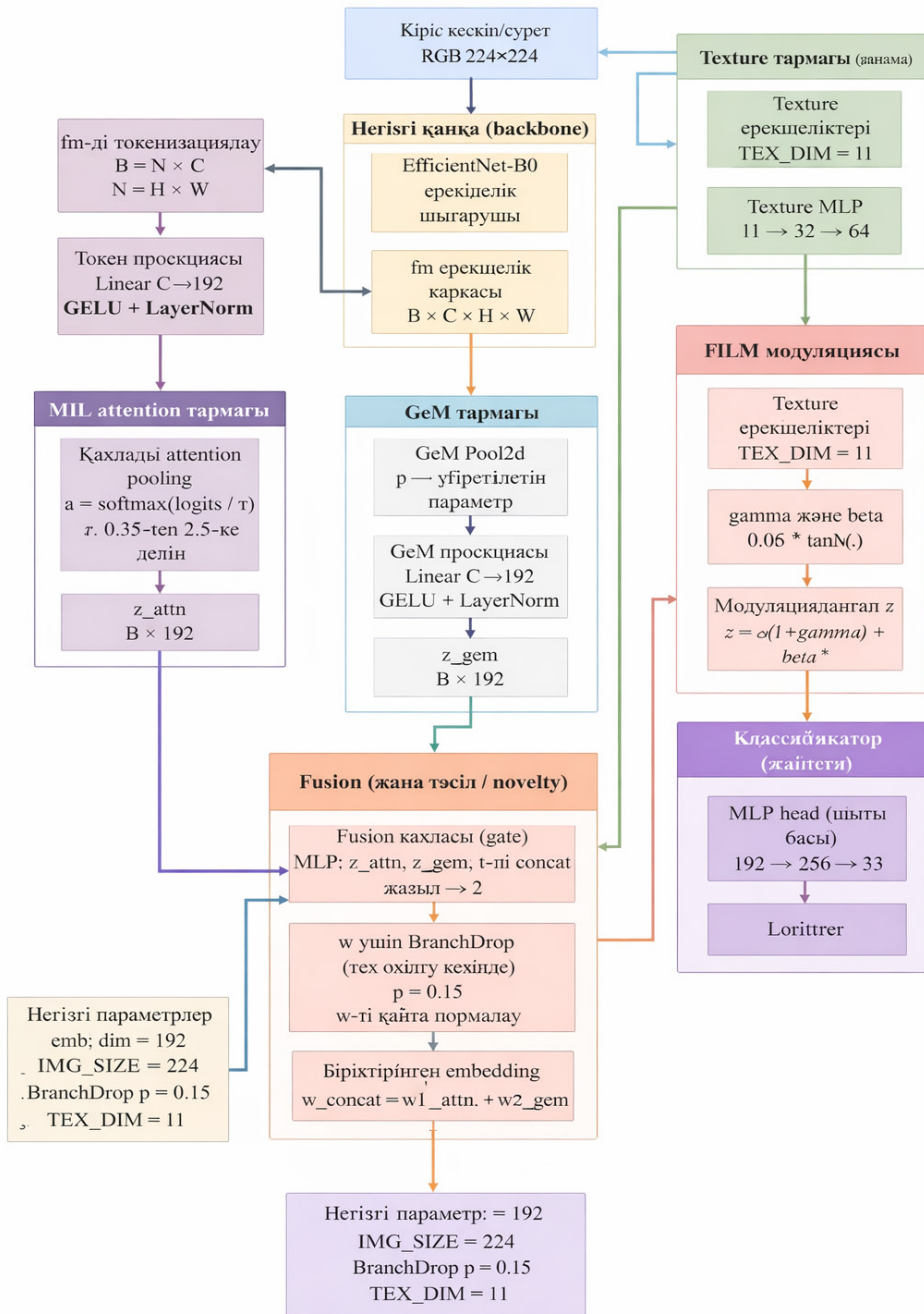


параметрлік емес Краскел–Уоллис критерийі және әсер мөлшерін сипаттайтын  $\varepsilon^2$  коэффициенті қолданылды (Tomczak & Tomczak, 2014). Жіктеу нәтижелерін салыстыру мақсатында бірнеше модельдер тобы қарастырылды. Классикалық машиналық оқыту әдістеріне логистикалық регрессия, тірек векторлар әдісі және градиенттік бустинг модельдері енгізілді. Бұл алгоритмдер инженерлік жолмен алынған белгілер негізінде жұмыс істеп, салыстырмалы талдау үшін базалық деңгей ретінде пайдаланылды (Hastie және т.б., 2009). Терең оқыту тәсілдері ретінде алдын ала үйретілген конволюциялық нейрондық желілер қолданылды, олардың соңғы қабаттары 33 класты жіктеуге бейімделді. Тасымалдап оқыту әдісі деректер көлемі шектеулі жағдайларда модельдің тұрақтылығын арттыруға мүмкіндік береді (He және т.б., 2016; Tan & Le, 2019).

Микроскопиялық бейнелердегі локалдық құрылымдардың маңызын ескеру үшін көпинстанстық оқыту қағидатына негізделген гибридті модель ұсынылды. Бұл тәсілде бір кескін бірнеше аймақтарға бөлініп, қорытынды шешім осы аймақтар бойынша алынған нәтижелерді біріктіру арқылы қабылданады. Агрегация кезеңінде назар механизмдері пайдаланылып, модельге ақпараттық маңызы жоғары фрагменттерді анықтауға мүмкіндік береді (Ise және т.б., 2018; Lu және т.б., 2021). Сонымен қатар терең нейрондық желілерден алынған белгілер текстуралық прокси-көрсеткіштермен біріктіріліп, модельдің жалпылау қабілетін күшейтуге бағытталды (Perez және т.б., 2018). Модельдердің тиімділігі көпклассты есептерге сәйкес бірнеше метрика арқылы бағаланды. Олардың қатарында жалпы дәлдік, теңгерімді дәлдік, макро-орташа F1-көрсеткіш және Мэтьюс корреляция коэффициенті бар (Powers, 2020). Бұл метрикалар кластар арасындағы қателіктерді жан-жақты талдауға және ұсынылған тәсілді базалық модельдермен объективті салыстыруға мүмкіндік береді. Ұсынылған гибридті архитектура конволюциялық нейрондық желілердің жоғары деңгейлі белгілерін, текстуралық сипаттамаларды және назарға негізделген агрегация механизмдерін біріктіре отырып, микроскопиялық бейнелердің кеңістіктік біртексіздігін ескеруге және әртүрлі түсірілім жағдайларына бейімделу қабілетін арттыруға бағытталған (Сурет 1).

1-суретте ұсынылған модельдің жалпы архитектурасы көрсетілген. Кіріс ретінде өлшемі  $224 \times 224$  RGB форматындағы микроскопиялық бейне алынып, ол EfficientNet-V0 негізіндегі конволюциялық backbone арқылы өңделеді. Нәтижесінде алынған белгілер картасы екі параллель тармаққа беріледі:

GeM-пулингке негізделген глобалдық агрегация тармағы және көпинстанстық оқытуға арналған назар механизмі бар MIL тармағы. MIL тармағында белгілер кеңістіктік токендерге түрлендіріліп, gated attention pooling арқылы ақпараттық маңызы жоғары локалдық аймақтар автоматты түрде ерекшеленеді. Сонымен қатар модельде текстуралық прокси-белгілерге негізделген жеке тармақ қарастырылған. Бұл тармақта алдын ала есептелген текстуралық сипаттамалар көпқабатты перцептрон арқылы өңделіп, FiLM-модуляция механизмі арқылы негізгі белгілер кеңістігіне енгізіледі. Мұндай модуляция бейненің жарықтану, контраст және текстуралық вариацияларына модельдің сезімталдығын төмендетеді. MIL және



Сур. 1. Ұсынылған Novel\_HybridMIL архитектурасының схемалық диаграммасы.

GeM тармақтарынан алынған белгілер Fusion блогында біріктіріледі. Бұл кезеңде оқыту барысында BranchDrop регуляризациясы қолданылып, модельдің бір тармаққа шамадан тыс тәуелді болу қаупі азайтылады. Қорытынды

біріктірілген эмбеддинг көпқабатты классификаторға беріледі, оның шығысында 33 бактериялық класқа сәйкес логиттер есептеледі. Ұсынылған архитектура локалды және глобалдық ақпаратты үйлесімді түрде біріктіріп, микроскопиялық бейнелерді көпклассты жіктеу дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді.

### **Нәтижелер және оларды талқылау.**

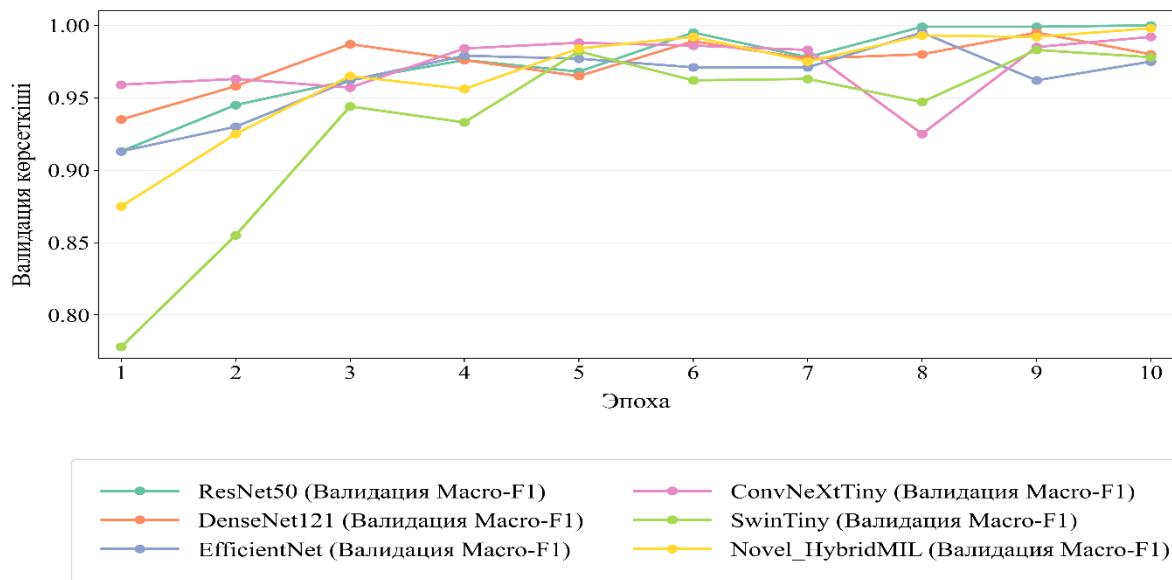
Ұсынылған әдістердің тиімділігін бағалау мақсатында бактериялардың микроскопиялық бейнелерін көпклассты жіктеу бойынша бірқатар эксперименттер жүргізілді. Барлық модельдер бірдей деректер жиынында және алдын ала белгіленген қатаң train/validation/test бөлу протоколы негізінде оқытылып, бағаланды. Мұндай тәсіл алынған нәтижелердің салыстырмалылығын және әдіснамалық дұрыстығын қамтамасыз етеді. Алдымен инженерлік және прокси-белгілерге негізделген классикалық машиналық оқыту модельдерінің нәтижелері талданды. Логистикалық регрессия мен тірек векторлар әдісі базалық деңгейдегі жіктеу сапасын көрсетті, алайда олардың күрделі морфологиялық және текстуралық айырмашылықтарды толық сипаттауда шектеулері байқалды. CatBoost моделі басқа классикалық әдістермен салыстырғанда жоғарырақ нәтижелер көрсетті, бұл табличалық белгілер арасындағы сызықтық емес тәуелділіктерді тиімді моделдеумен түсіндіріледі. Дегенмен, бұл модельдердің барлығы терең оқыту архитектураларынан төмен нәтиже көрсетті, әсіресе локалды құрылымдардың рөлі жоғары болған кластарда.

Терең оқытуға негізделген модельдер арасында алдын ала үйретілген конволюциялық нейрондық желілер тұрақты және жоғары жіктеу дәлдігін көрсетті. ResNet және DenseNet архитектуралары жақсы нәтижелерге қол жеткізгенімен, кейбір кластарда қателердің сақталуы микроскопиялық бейнелердің ішкі вариабельділігімен және морфологиялық ұқсастығымен байланысты болды. EfficientNet архитектурасы параметрлер саны мен өнімділік арасындағы тиімді теңгерімнің арқасында жалпы метрикалар бойынша бәсекеге қабілетті нәтиже көрсетті. Ал ConvNeXt және Swin Transformer сияқты заманауи архитектуралар күрделі визуалды паттерндерді жақсырақ үйренуге қабілетті екенін көрсетті, алайда олардың артықшылығы барлық кластарда бірдей байқалмады. Ұсынылған гибриді терең оқыту моделі барлық негізгі метрикалар бойынша ең жоғары немесе тұрақты түрде жоғары нәтижелерді көрсетті. Бұл нәтиже модель архитектурасында локалды және глобалдық ақпаратты бір уақытта ескерудің тиімділігімен түсіндіріледі. Көпінстанстық оқытуға негізделген назар механизмі модельге микроскопиялық бейненің диагностикалық тұрғыдан маңызды аймақтарын автоматты түрде анықтауға мүмкіндік берді, ал GeM-пулинг глобалдық құрылымдық ақпаратты жоғалтпай агрегаттауды қамтамасыз етті. Сонымен қатар, текстуралық прокси-белгілерге негізделген FiLM-модуляция бейненің жарықтану және контраст вариацияларына модельдің сезімталдығын төмендетіп, жалпылау қабілетін арттырды.

2-суретте базалық және заманауи терең оқыту модельдерінің валидациялық таңдамадағы Macro-F1 мәндерінің эпохалар бойынша өзгеруі көрсетілген.

Барлық модельдер алғашқы бірнеше эпохада жылдам конвергенцияны көрсетіп, кейінгі кезеңдерде тұрақты деңгейге жетеді. Ұсынылған гибриді модель валидациялық кезең бойында жоғары және тұрақты Macro-F1 көрсеткішін сақтап, басқа архитектуралармен салыстырғанда жақсы жалпылау қабілетін көрсетеді.

Валидация қисықтары: модельдер бойынша Macro-F1 (10 эпоха)



Сур. 2. Әртүрлі модельдер үшін 10 эпоха бойындағы валидациялық деректердегі Macro-F1 көрсеткішінің өзгеру динамикасы

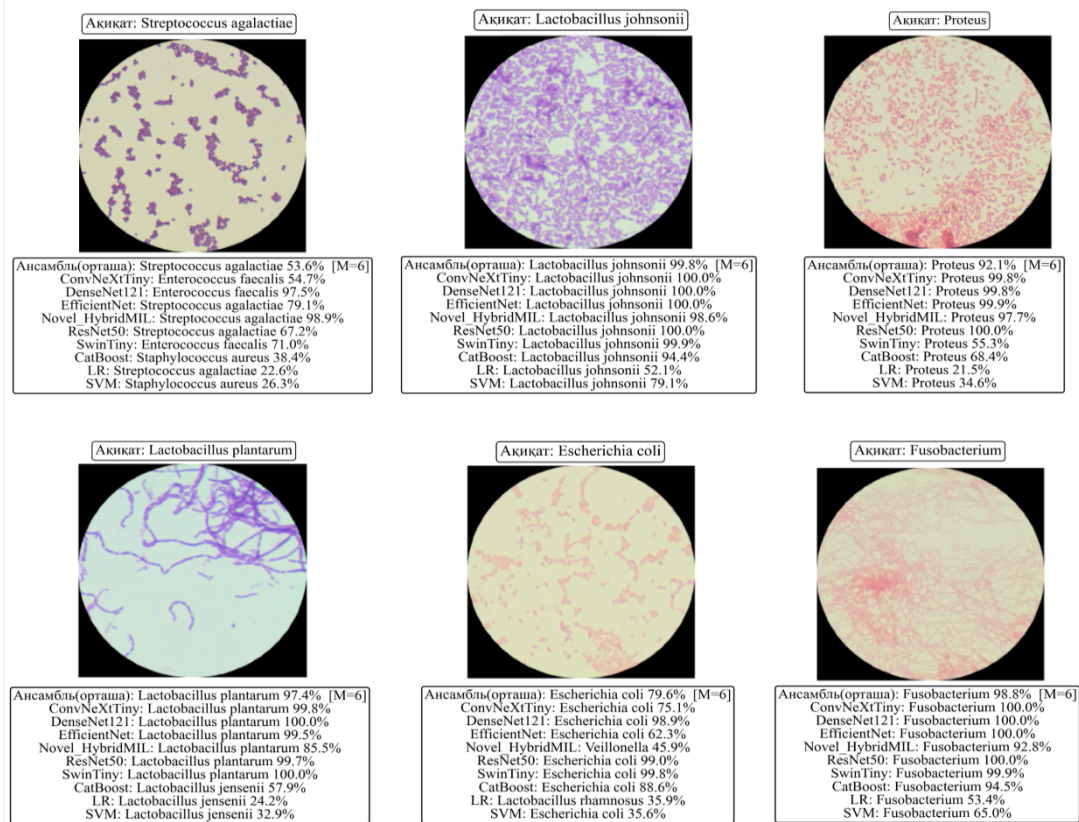
3-суретте тесттік деректер жиынынан таңдап алынған алты микроскопиялық бейне үшін нақты класс белгілері (жоғарыда) және әртүрлі модельдер мен ансамбльдік орташа болжаулардың нәтижелері (төменде) көрсетілген. Көрсетілген мысалдарда ансамбльдік тәсіл мен ұсынылған гибриді модельдің болжамдары нақты кластармен жоғары деңгейде сәйкес келетіні байқалады, бұл локалды құрылымдарды тиімді ескерудің және модельдердің жалпылау қабілетінің жоғары екенін сапалық тұрғыда растайды.

Қателерді талдау нәтижелері кейбір кластар арасында шатасулардың сақталатынын көрсетті. Бұл, ең алдымен, морфологиялық тұрғыдан ұқсас бактерия түрлеріне тән, олардың микроскопиялық бейнелерінде визуалды айырмашылықтар әлсіз байқалады. Дегенмен, ұсынылған гибриді модель мұндай жағдайларда да базалық және заманауи архитектуралармен салыстырғанда қателер санын азайта алды, бұл локалды құрылымдарды тиімді іріктеудің артықшылығын көрсетеді.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер ұсынылған гибриді тәсілдің микроскопиялық бейнелерді көпклассты жіктеу міндетінде тиімді екенін дәлелдейді. Модельдің артықшылығы тек жоғары сандық көрсеткіштермен ғана емес, сонымен қатар оның тұрақтылығы мен әртүрлі визуалды шарттарға бейімделу қабілетімен де сипатталады. Бұл зерттеу нәтижелері микробиологиялық

Сапалық талдау (TEST, PRIMARY\_33) — бірдей 6 сурет

Ақиқат (жоғарыда) + Ансамбль (орташа) және модель болжамдары (төменде)



Сур. 3. Микроскопиялық бейнелер үшін модельдердің сапалық салыстырмалы нәтижелері

диагностикада жасанды интеллект әдістерін практикалық деңгейде қолдануға негіз бола алады және болашақта кеңейтілген деректер жиындарында немесе нақты клиникалық сценарийлерде тексеруге перспективалар ашады.

### Қорытынды.

Бұл жұмыста бактериялардың микроскопиялық бейнелерін көпклассты жіктеу мәселесі қарастырылып, оны шешуге арналған гибриді терең оқыту моделі ұсынылды. Зерттеу барысында 33 бактериялық таксонды қамтитын және 2034 микроскопиялық кескіннен тұратын деректер жиыны қолданылып, эксперименттер әдіснамалық тұрғыдан қатаң train/validation/test бөлу протоколы негізінде жүргізілді. Мұндай тәсіл алынған нәтижелердің объективтілігі мен қайта өндірілуін қамтамасыз етті. Эксперименттік нәтижелер классикалық машиналық оқыту модельдері мен базалық терең оқыту архитектуралары микроскопиялық бейнелерді жіктеуде белгілі бір деңгейде тиімді екенін көрсеткенімен, олардың күрделі морфологиялық және текстуралық айырмашылықтарды толық қамти алмайтынын көрсетті. Ұсынылған гибриді модель локалдық және глобалдық

белгілерді бір уақытта ескерудің арқасында барлық негізгі бағалау метрикалары бойынша тұрақты әрі жоғары нәтижелерге қол жеткізді. Көпинстанстық оқытуға негізделген назар механизмі диагностикалық тұрғыдан маңызды аймақтарды тиімді іріктеуге мүмкіндік берсе, текстуралық прокси-белгілермен үйлестірілген FiLM-модуляция модельдің әртүрлі түсірілім жағдайларына бейімделу қабілетін арттырды. Сандық және сапалық талдау нәтижелері ұсынылған тәсілдің жалпылау қабілеті жоғары екенін және морфологиялық тұрғыдан ұқсас бактерия кластарын ажыратуда артықшылыққа ие екенін көрсетті. Бұл модельдің микробиологиялық диагностикада көмекші құрал ретінде қолданылу әлеуетін айқындайды және зертханалық процестерді автоматтандыруға бағытталған интеллектуалдық жүйелерді дамытуға негіз бола алады.

Алдағы зерттеулерде ұсынылған модельді кеңейтілген деректер жиындарында, әртүрлі микроскопиялық протоколдар мен клиникалық сценарийлерде тексеру, сондай-ақ нақты уақыт режимінде жұмыс істейтін диагностикалық жүйелерге енгізу жоспарланып отыр. Сонымен қатар, модельдің интерпретативтілігін арттыру және шешім қабылдау процесін визуалды түсіндіру әдістерін дамыту болашақтағы маңызды бағыттардың бірі болып табылады.

#### REFERENCES

- Campanella G., Hanna M.G., Geneslaw L. et al. (2019). Clinical-grade computational pathology using weakly supervised deep learning // *Nature Medicine*. — Vol. 25. — Pp. 1301–1309. (in. Eng.).
- Ching T., Himmelstein D.S., Beaulieu-Jones B.K. et al. (2018). Opportunities and obstacles for deep learning in biology and medicine // *Journal of the Royal Society Interface*. — Vol. 15. — No. 141. Pp. 20170387. (in. Eng.).
- Deng J., Liu Y., Ren Z. (2024). Integrating handcrafted and deep features for robust medical image analysis // *Computers in Biology and Medicine*. — Vol. 168. — Pp. 107690. (in. Eng.).
- Deng L., Yu D., Li S., Wang H. (2022). Machine learning approaches for microbial image analysis // *IEEE Access*. — Vol. 10. — Pp. 11345–11357. (in. Eng.).
- Esteva A., Robicquet A., Ramsundar B. et al. (2019). A guide to deep learning in healthcare // *Nature Medicine*. — Vol. 25. — Pp. 24–29. (in. Eng.).
- Gonzalez R.C., Woods R.E. (2018). *Digital Image Processing*. – 4th ed. – Pearson Education. — P. 1168. (in. Eng.).
- Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. (2009). *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. – 2nd ed. – New York: Springer. — P.745. (in. Eng.).
- He K., Zhang X., Ren S., Sun J. (2016). Deep residual learning for image recognition // *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. — Pp. 770–778. (in. Eng.)
- Huang Z., Li X., Zhang J., Wang Q. (2023). Convolutional neural networks for medical image classification: A survey // *Expert Systems with Applications*. — Vol. 213. — P. 118897. (in. Eng.).
- Ilse M., Tomczak J.M., Welling M. (2018). Attention-based deep multiple instance learning // *Proceedings of the 35th International Conference on Machine Learning (ICML)*. — Pp. 2127–2136. (in. Eng.).
- Li X., Zhang S., Zhang Y., Gao W. (2022). Robust deep learning for biomedical image classification under limited data // *Biomedical Signal Processing and Control*. — Vol. 71. — P. 103213. (in. Eng.).
- Lu M.Y., Williamson D.F.K., Chen T.Y. et al. (2021). Data-efficient and weakly supervised computational pathology on whole-slide images // *Nature Biomedical Engineering*. — Vol. 5. — Pp. 555–570. (in. Eng.).
- Pádua L., Vanko J., Hruška J., Adão T., Sousa J.J., Peres E. (2020). Classification of microscopic images using machine learning methods: A review // *Applied Sciences*. — Vol. 10. — No. 14. — P. 4859. (in. Eng.).
- Perez E., Strub F., de Vries H., Dumoulin V., Courville A. (2018). FiLM: Visual reasoning with a general conditioning layer // *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. — Vol. 32. — No. 1. (in. Eng.).
- Powers D.M.W. (2020). Evaluation: From precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation // *Journal of Machine Learning Technologies*. — Vol. 2. — No. 1. — Pp. 37–63. (in. Eng.).



Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. (2016). You Only Look Once: Unified, real-time object detection // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). — Pp. 779–788. (in. Eng.).

Shu M., Tang J., Liu X., Wang Y. (2022). Automated analysis of microscopic bacterial images using deep learning techniques // Computers in Biology and Medicine. — Vol. 145. — P. 105473. (in. Eng.).

Tan C., Wu H., Lin Y. (2025). Challenges and opportunities of deep learning in microscopic image analysis // Pattern Recognition. — Vol. 147. — P. 109995. (in. Eng.).

Tan M., Le Q. (2019). EfficientNet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks // Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning (ICML). — Pp. 6105–6114. (in. Eng.).

Tomczak M., Tomczak E. (2014). The need to report effect size estimates revisited // Trends in Sport Sciences. — Vol. 21. — No. 1. Pp. 19–25. (in. Eng.).

Varoquaux G., Raamana P.R., Engemann D.A., Hoyos-Idrobo A., Schwartz Y., Thirion B. (2017). Assessing and tuning brain decoders: Cross-validation, caveats, and guidelines // NeuroImage. — Vol. 145. — Pp. 166–179. (in. Eng.).

Zhang H., Wang Y., Li Q., Sun J. (2023). Hybrid deep learning frameworks for microscopic image classification // Information Sciences. — Vol. 625. — Pp. 290–304. (in. Eng.)

Zhang Y., Li H., Chen X., Zhou Z. (2021). Deep learning-based bacterial image classification in clinical microscopy // Artificial Intelligence in Medicine. — Vol. 118. — P. 102129. (in. Eng.).

**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND  
COMMUNICATION TECHNOLOGIES**

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ  
ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И  
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Собственник:**

АО «Международный университет информационных  
технологий» (Казахстан, Алматы)

**Главный редактор:**

Колесникова Катерина Викторовна

**Ответственный редактор:**

Мрзабаева Раушан Жалиевна

**Компьютерная верстка:**

Калабай Замзагуль Ертугановна

Сайт журнала: <https://journal.iitu.edu.kz>

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Подписано в печать 30.03.2026.

050040 г. Алматы, ул. Манаса 34/1, каб. 709, тел: +7 (727) 244-51-09).