

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 Токсуажевич — 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 Токкужаевич — 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 Максугуона 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 ASTANA9

L. Kurmangaziyeva, Sh. Kodanova, M. Urazgaliyeva, O. Findik, S. Iskakova
INTEGRATING FUZZY LOGIC AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN OPTIMIZING BUSINESS PROCESS AUTOMATION DECISIONS24

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 METHOD46

V.A. Takizhanov, A.Z. Ibragimov, A. Shalakhmetov
SIMULATION-BASED ROBUSTNESS ASSESSMENT OF ASTANA'S BUS NETWORK UNDER RANDOM AND TARGETED FAILURES61

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 MECHANISMS76

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 BACTERIA128

G. Kalman, J. Kultan, A.N. Ismukamova, N.M. Ausilova, Y.V. Makhatova
A DOMAIN-KNOWLEDGE-BASED MODEL FOR REFERENCE RESOLUTION IN LOW-RESOURCE LANGUAGES141

Y. Kamen, Zh. Yessendauletova, L. Fazylova, M. Rakhimzhanova, A.M. Nedzved
USING NEURAL NETWORKS FOR OBJECTIVE ASSESSMENT OF ATTENTION IN CHILDREN BASED ON EEG DATA158

A.Ye. Kulakayeva, Ye.A. Bakhtiyarova, G.T. Jakanova, Sh. Nursultan
COMPARATIVE ANALYSIS OF VARIOUS RADIO WAVE PROPAGATION MODELS FOR MOBILE NETWORK COVERAGE PREDICTION173

M.B. Nurpeissova, Sh.K. Aitkazinova, A.M. Abenov, N.S. Donenbayeva
METHODOLOGY FOR TRANSFORMING SATELLITE COORDINATES INTO A TOPOCENTRIC RECTANGULAR COORDINATE SYSTEM189

A. Ospanov, P. Alonso-Jordá, A. Zhumadillayeva
BLOCKCHAIN-ENABLED ERP WAREHOUSE INTEGRATION WITH IOT DIMENSIONERS AND MACHINE LEARNING-OPTIMIZED DIMENSIONAL WEIGHT RECONCILIATION202

A.A. Sakhypov, R.B. Seitbek
EVENT-DRIVEN MICROSERVICES FOR INCIDENT DETECTION AND RESPONSE IN INTELLIGENT TRAFFIC SYSTEM218

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 MODEL231

INFORMATION SECURITY AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

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

МАЗМҰНЫ

ӘЛЕУМЕТТІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ДАМУДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

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

АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

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

М.Б. Нұрпейісова, Ш.Қ. Айтқазынова, А.М. Абеннов, 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
--	----

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

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

С.А. Адилжанова, М.Ж. Сакыпбекова, Л.Ш. Черикбаева, Г.А. Тюлепбердинова, Г.Т. Жубанышева СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	244
Т.К. Жукабаева, Д.Б. Баумуратова, Е. Бенкхелифа, Н.А. Ниетбаева МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ СРЕДСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ АТАК В КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ	270
Н.Е. Карабаев, С.К. Серикбаева, Е.М. Марденов, Б. Тасуов, М. Файкус ОБНАРУЖЕНИЕ КИБЕРАТАК В ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	292
Б.А. Кумалаков, А.О. Даргулова ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ПОДБОРУ КАНДИДАТОВ НА ОСНОВЕ СОПОСТАВЛЕНИЯ РЕЗЮМЕ И ВАКАНСИЙ	311
В. Махатова, Б. Джугембаева, А. Габдулова, Л. Нургалиева, А. Абдигалиева 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. 89–108

Journal homepage: <https://journal.iitu.edu.kz><https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.006>

MACHINE LEARNING METHODS FOR ANALYSING THREE-DIMENSIONAL SPATIAL DATA IN KAZAKHSTAN'S LAND USE PLANNING

O.N. Akylbekov^{1*}, *Y.T. Dauletbek*², *A.N. Moldagulova*¹, *G.S. Zakariya*¹, *D.A. Gura*³

¹Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satbayev, Almaty, Kazakhstan;

²International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan;

³Kuban State Technological University, Krasnodar, Russian Federation.

E-mail: o.akylbekov@satbayev.university

Olzhas Nauryzbayevich Akylbekov — PhD, Senior Lecturer, Department of Software Engineering, Institute of Automation and Information Technologies, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satbayev

E-mail: o.akylbekov@satbayev.university. <https://orcid.org/0000-0002-7188-5550>;

Yergali Tursungaliuly Dauletbek — Senior Lecturer, Director of IITU Innovation center, International Information Technologies University

E-mail: y.dauletbek@edu.iitu.kz. <https://orcid.org/0000-0003-1295-8737>;

Aiman Nikolaevna Moldagulova — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Department of Software Engineering, Institute of Automation and Information Technologies, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev

E-mail: a.moldagulova@satbayev.university. <https://orcid.org/0000-0002-1596-561X>;

Gulnaz Sayankyzy Zakariya — Senior Lecturer, Department of Software Engineering, Institute of Automation and Information Technologies, Kazakh National Research Technical University named after K.I.Satbayev

E-mail: g.zakariya@stud.satbayev.university. <https://orcid.org/0009-0001-7774-7634>;

Dmitry Andreevich Gura — Candidate of Technical Sciences, Kuban State Technological University

E-mail: gda-kuban@kubstu.ru. <https://orcid.org/0000-0002-2748-9622>.

© O.N. Akylbekov, Y.T. Dauletbek, A.N. Moldagulova, G.S. Zakariya, D.A. Gura

Abstract. Modern machine learning (ML) techniques provide powerful tools for processing complex spatial and climatic datasets essential for sustainable land-use planning. This study investigates the application of ML methods, including multilayer perceptrons (MLP) and convolutional neural networks (CNN), to analyze three-dimensional geospatial data in Kazakhstan, with a focus on urban development in Alatau City — a rapidly growing district of Almaty. Using open-access data sources such as Copernicus



satellite imagery, ERA5 climate reanalysis, and QGIS spatial layers, high-resolution 3D urban models were developed. A hybrid CNN–MLP architecture was implemented to assess land use, predict urban expansion, and evaluate land suitability for infrastructure and residential development. The results show that ML-based approaches can significantly improve the efficiency, adaptability, and sustainability of urban planning, supporting a transition toward data-driven territorial management in Kazakhstan.

Keywords: machine learning, neural networks, 3D spatial data, territorial planning, Copernicus, ERA5, QGIS, urban development, sustainable planning

For citation: O.N. Akyzbekov, Y.T. Dauletbek, A.N. Moldagulova, G.S. Zakariya, D.A. Gura (2026). Machine learning methods for analysing three-dimensional spatial data in Kazakhstan’s land use planning // International journal of information and communication technologies. Vol. 7. No. 25. Pp. 89–108. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.006>. (In Eng.).

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

ҚАЗАҚСТАННЫҢ АУМАҚТЫҚ ЖОСПАРЛАУЫНДАҒЫ ҮШ ӨЛШЕМДІ КЕҢІСТІКТІК МӘЛІМЕТТЕРДІ ТАЛДАУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІ

О.Н. Ақылбеков^{1}, Е.Т. Даулетбек², А.Н. Молдагулова¹, Г.С. Закария¹, Д.А. Гура³*

¹Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы, Қазақстан;

² Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан;

³Кубань мемлекеттік технологиялық университеті, Краснодар, Ресей.

E-mail: o.akyzbekov@satbayev.university

Ақылбеков Олжас Наурызбаевич — PhD, аға оқытушы, Программалық инженерия кафедрасы, Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институты, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті
E-mail: o.akyzbekov@satbayev.university. <https://orcid.org/0000-0002-7188-5550>;

Даулетбек Ергали Турсунғалиұлы — аға оқытушы, Инновация орталығының директоры, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті
E-mail: y.dauletbek@edu.iitu.kz. <https://orcid.org/0000-0003-1295-8737>;

Молдагулова Айман Николаевна – физика-математика ғылымдарының кандидаты, Программалық инженерия кафедрасы, Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институты, Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті

E-mail: a.moldagulova@satbayev.university. <https://orcid.org/0000-0002-1596-561X>;

Закария Гульназ Саянқызы — аға оқытушы, Программалық инженерия кафедрасы, Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институты, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті

E-mail: g.zakariya@stud.satbayev.university. <https://orcid.org/0009-0001-7774-7634>;

Дмитрий Анатольевич Гура — техника ғылымдарының кандидаты, Кубань мемлекеттік технологиялық университеті

E-mail: gda-kuban@kubstu.ru. <https://orcid.org/0000-0002-2748-9622>.

© О.Н. Акылбеков, Е.Т. Даулетбек, А.Н. Молдагулова, Г.С. Закария, Д.А. Гура

Аннотация. Қазіргі заманғы машиналық оқыту (ML) әдістері күрделі кеңістіктік және климаттық деректерді өңдеуге арналған тиімді құрал ретінде кеңінен қолданылады, бұл орнықты аумақтық жоспарлау үшін маңызды. Бұл зерттеуде Алматы қаласының қарқынды дамып келе жатқан Алатау ауданы мысалында үшөлшемді геокеңістіктік деректерді талдау үшін көпқабатты перцептрондар (MLP) мен конфолюциялық нейрондық желілер (CNN) сияқты ML әдістерін қолдану қарастырылады. Copernicus спутниктік кескіндері, ERA5 климаттық қайта талдауы және QGIS кеңістіктік қабаттары сияқты ашық деректер көздері негізінде жоғары дәлдіктегі 3D қалалық модельдер жасалды. Жерді пайдалану түрлерін классификациялау, урбанизация үдерістерін болжау және тұрғын үй мен инфрақұрылым салуға жарамды аумақтарды бағалау үшін CNN–MLP гибриді архитектурасы қолданылды. Зерттеу нәтижелері машиналық оқытуға негізделген тәсілдер Қазақстандағы қалалық жоспарлау тиімділігі мен орнықтылығын едәуір арттырып, деректерге негізделген аумақтық басқаруға көшуге мүмкіндік беретінін көрсетеді.

Түйін сөздер: машиналық оқыту, нейрондық желілер, үшөлшемді кеңістіктік деректер, аумақтық жоспарлау, Copernicus, ERA5, QGIS, орнықты даму

Дәйексөздер үшін: О.Н. Акылбеков, Е.Т. Даулетбек, А.Н. Молдагулова, Г. С. Закария, Д.А. Гура (2026). Қазақстанның аумақтық жоспарлауындағы үш өлшемді кеңістіктік мәліметтерді талдау үшін машиналық оқыту әдістері // Халықаралық ақпараттық және коммуникалық технологиялар журналы. Т. 6. No. 21. Б. 89–108. <https://doi.org/10.54309/ijict.2026.25.1.006> (Ағыл. тіл.).

Мүдделер қақтығысы: Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдемейді.

МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ТРЁХМЕРНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ В ТЕРРИТОРИАЛЬНОМ ПЛАНИРОВАНИИ КАЗАХСТАНА

О.Н. Акылбеков^{1}, Е.Т. Даулетбек², А.Н. Молдагулова¹, Г.С. Закария⁶, Д.А. Гура³*

¹Казахский национальный исследовательский технический университет имени

К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан;

²Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан;

³Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия.

E-mail: o.akyzbekov@satbayev.university



Акылбеков Олжас Наурызбаевич — PhD, старший преподаватель, кафедра Программной Инженерии, Институт автоматики и информационных технологий, Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева

E-mail: o.akylbekov@satbayev.university. <https://orcid.org/0000-0002-7188-5550>;

Даулетбек Ергали Турсунгалиулы — старший преподаватель, директор центра Инновации, Международный университет информационных технологий

E-mail: y.dauletbek@edu.iitu.kz. <https://orcid.org/0000-0003-1295-8737>;

Молдагулова Айман Николаевна – кандидат физико-математических наук, кафедра Программной Инженерии, Институт автоматики и информационных технологий, Казахский Национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева

E-mail: a.moldagulova@satbayev.university. <https://orcid.org/0000-0002-1596-561X>;

Закария Гульназ Саянкызы — старший преподаватель, кафедра Программной Инженерии, Институт автоматики и информационных технологий, Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева

E-mail: g.zakariya@stud.satbayev.university. <https://orcid.org/0009-0001-7774-7634>;

Дмитрий Анатольевич Гура — кандидат технических наук, Кубанский государственный технологический университет

E-mail: gda-kuban@kubstu.ru. <https://orcid.org/0000-0002-2748-9622>.

© О.Н. Акылбеков, Е.Т. Даулетбек, А.Н. Молдагулова, Г.С. Закария, Д.А. Гура

Аннотация. Современные методы машинного обучения (ML) представляют собой эффективные инструменты для обработки и анализа сложных пространственных и климатических данных, необходимых для устойчивого территориального планирования. В данной работе рассматривается применение алгоритмов ML, включая многослойные перцептроны (MLP) и сверточные нейронные сети (CNN), для анализа трёхмерных геопро пространственных данных на примере быстро развивающегося района Алатау города Алматы. На основе открытых источников данных — спутниковых снимков Copernicus, климатического реанализа ERA5 и пространственных слоёв QGIS — были построены высокоточные 3D-модели городской среды. Предложена гибридная архитектура CNN–MLP для классификации землепользования, прогнозирования урбанистического роста и оценки пригодности территорий для жилой и инфраструктурной застройки. Результаты показывают, что подходы, основанные на машинном обучении, позволяют значительно повысить эффективность, адаптивность и устойчивость процессов городского планирования, способствуя переходу к управлению территориями на основе данных в условиях Казахстана.

Ключевые слова: машинное обучение, нейронные сети, трёхмерные пространственные данные, территориальное планирование, Copernicus, ERA5, QGIS, городское развитие, устойчивое планирование.

Для цитирования: О.Н. Акылбеков, Е.Т. Даулетбек, А.Н. Молдагулова, Г.С. Закария, Д.А. Гура (2026). Методы машинного обучения для анализа трёхмерных пространственных данных в территориальном планировании Казахстана // Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. Т. 6. No. 21. Стр. 89–108. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2025.25.1.006> (На каз.).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Introduction.

Urban territorial planning in Kazakhstan requires a comprehensive strategy that integrates climatic, environmental, infrastructural, and demographic factors. However, the increasing availability of extensive and multidimensional datasets poses serious challenges for traditional spatial analysis techniques, which often lack the capacity to capture complex, nonlinear relationships and make accurate predictions about urban growth (Talukdar et al., 2020; Zhao et al., 2023).

To address this limitation, machine learning (ML) methodologies are increasingly applied in urban studies. These techniques enable the prediction of urban expansion, identification of spatial and temporal trends, and optimization of land-use policies. In this research, open-access geospatial datasets were used, including QGIS spatial layers, ERA5 climate reanalysis, and Copernicus Sentinel satellite imagery. These sources provide high-resolution information on terrain, vegetation, land use, and climate, which are critical for developing accurate three-dimensional (3D) models of urban areas.

The focus of this study is the Alatau district of Almaty (Alatau City), one of the city's most rapidly developing regions. This area is characterized by dynamic urbanization processes, where traditional planning methods are insufficient, and data-driven approaches become essential (Chaturvedi & de Vries, 2021; Zhang et al., 2019).

To analyze the spatial patterns and characteristics of urban development, convolutional neural networks (CNN) were employed to process raster imagery and detect urban expansion patterns, while multilayer perceptrons (MLP) were used for classifying tabular spatial features such as elevation, NDVI, and land cover (Vali et al., 2020; Li et al., 2024). These models support forecasting of future expansion zones, delineation of land-use clusters, and assessment of land suitability for residential and infrastructural development.

Unlike conventional statistical methods, ML approaches are capable of detecting nonlinear correlations and integrating diverse data types — including topography, climate, and vegetation — into a unified analysis. This adaptability is especially critical for areas like Alatau City, where complex terrain and climate variability complicate sustainable urban development planning (Chen et al., 2021).

The scientific problem addressed in this research lies in the limitations of conventional spatial analysis tools in handling high-dimensional geospatial and climatic data. This study aims to explore how modern machine learning models can overcome these limitations by providing adaptive and predictive solutions for urban territorial

planning in Kazakhstan.

To achieve this, the research consolidates socioeconomic, meteorological, and spatial datasets into a single analytical framework and applies a structured methodology based on the CRISP-DM process. This ensures systematic data preparation, clustering, and classification of urban zones.

Ultimately, the study investigates how machine learning techniques — through categorization, forecasting, and anomaly detection — can enhance sustainable urban development and support the transition to data-driven territorial management. Particular attention is paid to the role of MLP and CNN models and the effective integration of open-access data sources such as Copernicus, ERA5, and QGIS.

Research Problem

Despite the rapid development of geospatial data acquisition technologies, traditional spatial analysis tools remain limited in their ability to process large-scale multidimensional datasets and capture nonlinear relationships between environmental, climatic, and infrastructural factors.

Therefore, the key research problem addressed in this study can be formulated as follows:

How can modern neural network architectures be adapted for the integrated analysis of three-dimensional geospatial data and for building predictive models of urban development under the environmental and socio-economic conditions of Kazakhstan?

Addressing this challenge requires the integration of heterogeneous data sources, including satellite imagery, climatic observations, and GIS infrastructure layers, into a unified machine learning framework capable of generating reliable predictive models for territorial planning.

Materials and methods.

The research followed the CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining) methodology, which is a widely recognized framework for data-driven studies. This methodology ensured a systematic approach, covering all stages from initial data collection to modeling and evaluation (Talukdar et al., 2020). The iterative nature of CRISP-DM allowed continuous refinement of research objectives and applied methods based on the insights gained during the analysis.

The structured phases included:

Business Understanding: Defining urban planning objectives for Alatau City in Almaty, with a focus on sustainable development.

Data Understanding: Collection and preliminary exploration of geospatial and climatic datasets.

Data Preparation: Standardization, resampling, and feature engineering of input variables.

Modeling: Application of ML algorithms (MLP, CNN) for classification and prediction.

Evaluation: Assessment of model accuracy, interpretability, and spatial validity.

Deployment: Visualization and integration of results into GIS platforms (QGIS).

Data Sources and Integration

Four main categories of open-access data were used:

Copernicus Sentinel satellites (Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-5P):

Optical imagery for land cover and vegetation;

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index);

NDBI (Normalized Difference Built-up Index);

Digital surface/terrain models (DSM/DTM).

1. ERA5 Climate Reanalysis (ECMWF):

Hourly parameters such as temperature, precipitation, solar radiation, wind load;

Data accessed via the Climate Data Store API.

2. OpenStreetMap (OSM):

Road networks;

Building footprints and land-use categories;

Infrastructure layers (schools, hospitals, transport hubs).

3. GIS Platform (QGIS):

Data integration and geoprocessing;

DEM generation;

Export into ML-compatible formats (GeoTIFF, CSV).

All datasets were projected into WGS 84 / UTM zone 43N and resampled to a 100×100 m grid resolution to ensure comparability.

Data Understanding and Visualization

This study integrates multi-source remote sensing and climatic datasets to analyze the topographic, environmental, and climatic characteristics of Alatau city and its surroundings. The study area is a rapidly urbanizing zone characterized by complex topography and heterogeneous land use. Figure 1 shows the Digital Elevation Model (DEM) of the area, highlighting variations in altitude.

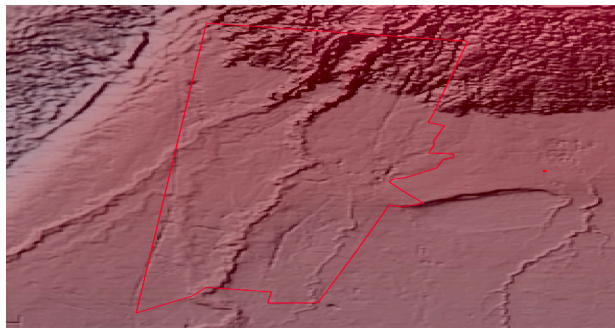


Fig. 1. The Digital Elevation Model (DEM) of Alatau city

Figure 1 presents the Digital Elevation Model (DEM) of Alatau city, retrieved from Copernicus data on 17 September 2025 at 30-meter spatial resolution. The DEM illustrates the topographic variability across the study area, with distinct elevation gradients between lowland urban areas and mountainous zones. Such elevation information

forms the foundation for hydrological modeling, soil erosion risk assessment, and land degradation analysis (Kuras et al., 2021).

To provide a realistic representation of surface conditions, Figure 2 shows a true color satellite image derived from Sentinel-2 imagery dated 27 August 2025, at 10-meter spatial resolution. This image serves as a reference for visual interpretation, enabling accurate delineation of natural and anthropogenic features prior to spectral analysis.

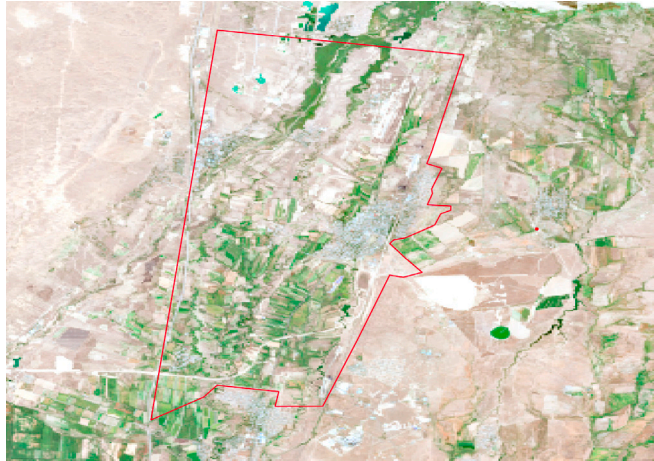


Fig. 2. True color Sentinel-2 satellite image of Alatau City (10 m resolution)

Vegetation health and spatial distribution were assessed using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), derived from Sentinel-2 imagery (27 August 2025) at 10-meter resolution (Figure 3). NDVI is a well-established metric for monitoring vegetation productivity, drought impacts, and land degradation trends, offering valuable insights into ecosystem conditions.

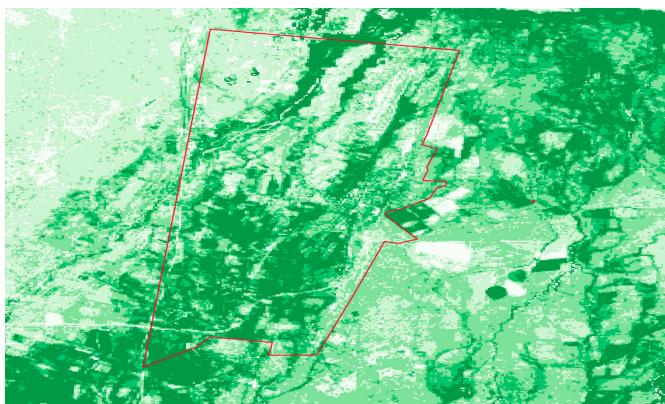


Fig. 3. NDVI vegetation index derived from Sentinel-2 imagery for Alatau City

Urbanization patterns were quantified using the Normalized Difference Built-up Index (NDBI), generated from Sentinel-2 data at 20-meter resolution (Figure 4). NDBI enables the detection of built-up areas and impervious surfaces, thereby supporting urban expansion monitoring and sustainable land-use planning efforts.

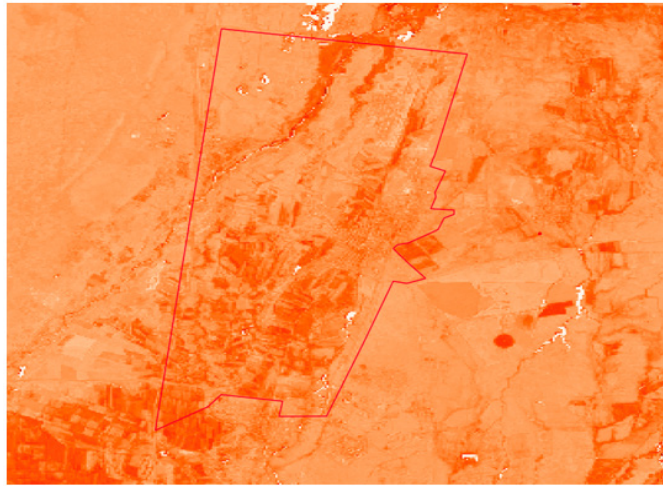


Fig. 4. NDVI, index, Alatau, dated 27.08.2025, derived from Sentinel-2 with 20 meters resolution, Copernicus

Further land cover classification for the year 2020 was performed to map major land use categories, including tree cover, shrubland, grassland, cropland, bare land, and water bodies (Figure 5). The classification highlights the spatial heterogeneity of natural and anthropogenic landscapes, providing critical input for agricultural, hydrological, and ecological modeling.

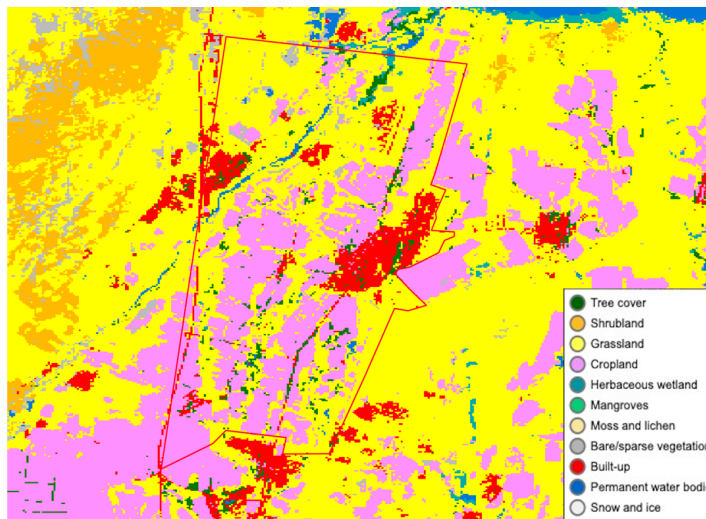


Fig. 5. Land Cover of Alatau city

Figures 6–7 present the spatial distribution of average annual temperature and precipitation in Almaty's Alatau district (Alatau City). Both datasets were obtained from the ERA5 reanalysis (ECMWF) and processed in combination with geospatial layers from Copernicus Sentinel-2 imagery and OpenStreetMap (OSM). The data were clipped to the district boundary and resampled to a unified grid resolution to ensure comparability between climate and land-use layers.

The average annual temperature map of Alatau city (Figure 6) depicts spatial variations in thermal regimes, with higher temperatures in lowland and urbanized areas and significantly cooler conditions in mountainous zones. Such thermal gradients directly influence vegetation growth, snow accumulation, and hydrological processes.

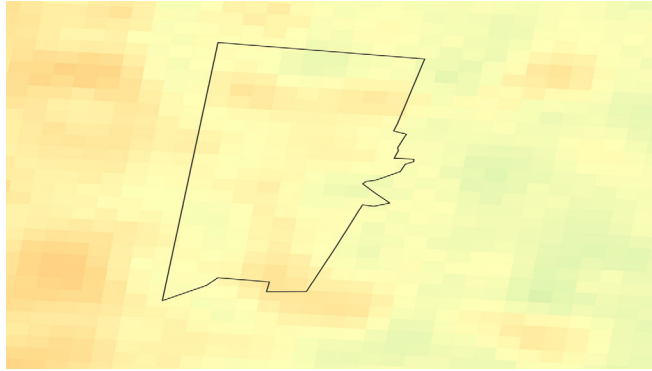


Fig. 6. Average annual temperature distribution in Alatau City based on ERA5 data

The precipitation map (Figure 7) demonstrates a complementary gradient: higher rainfall occurs in elevated areas, while lower values are observed in the central and northern lowlands. Together, these maps illustrate the combined effects of altitude, relief, and climatic circulation in shaping local microclimates.

Such spatial variability in temperature and precipitation is highly relevant for urban planning and land-use decision-making. Temperature dynamics directly affect energy demand, vegetation growth, and thermal comfort, while precipitation influences stormwater management, ecological resilience, and infrastructure design (Singh et al., 2021). The integration of ERA5 climatic variables with Copernicus satellite indices (NDVI, NDBI) and OSM infrastructure data provides a holistic foundation for developing machine learning-based predictive models of urban suitability and sustainable growth scenarios.

These visualizations provided an initial understanding of spatial heterogeneity and guided subsequent feature selection.

Dimensionality Reduction (PCA)

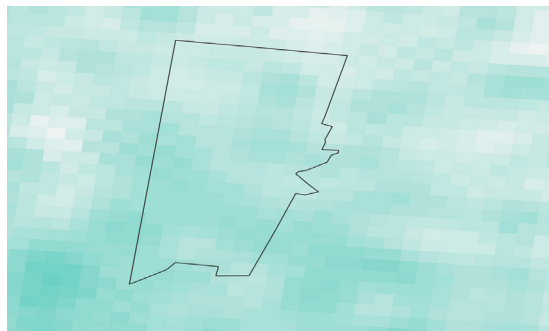


Fig. 7. Spatial distribution of average annual precipitation in Alatau City

To manage high-dimensional data, Principal Component Analysis (PCA) was applied.

PCA reduced correlated features into uncorrelated components while retaining most variance from the original dataset.

For Alatau City, the explained variance ratios were:

PC1: 36.12 %

PC2: 24.85 %

PC3: 21.43 %

PC4: 17.60 %

For a comparative dataset (another Almaty district):

PC1: 41.05 %

PC2: 22.31 %

PC3: 19.77 %

PC4: 16.87 %

PCA confirmed that terrain, vegetation, and climate jointly explain over 60 % of the observed variability. While effective for dimensionality reduction, PCA has limitations in noisy datasets; thus, its results were used as a preprocessing step for ML models rather than a final interpretation.

Machine Learning Models

MLP Architecture for Territorial Data Analysis

Purpose. A multilayer perceptron (MLP) is used for classification and regression based on tabular features aggregated from GIS layers (topography, climate, land use, infrastructure accessibility). In territorial planning, the model assesses the suitability of sites, predicts land use types, or predicts continuous indicators (Vali et al., 2020).

Input. A feature vector is generated for each cell of a regular grid (e.g., 100x100 m).

$$x=[\text{elevation,slope,aspect,NDVI,NDBI,temp,precip,dist_to_roads,dist_to_schools,...}]\in\mathbb{R}^d$$

Before training, the following are performed: (i) CRS and resolution adjustment, (ii) gap filling/masking, (iii) feature normalization/standardization, (iv) category encoding (One-Hot), (v) multicollinearity removal/feature selection (PCA, VIF, mutual information).

Architecture. The basic structure is feed-forward:

Input layer: size d .

Hidden layers: 2–4 fully connected layers with a decreasing number of neurons (e.g., $128 \rightarrow 64 \rightarrow 32$), ReLU activation (Fattah et al., 2021):

$$\text{ReLU}(z)=\max(0,z) \quad (2)$$

Regularization: Dropout (0.2–0.5), L2 penalty (10^{-5} – 10^{-3}), Batch Normalization.

Output layer:

- Binary classification — 1 neuron, sigmoid (Zhu et al., 2020):

$$\sigma(z)=\frac{1}{1+e^{-z}} \quad (3)$$

Binary cross-entropy loss;

-Multiclass — KKK neurons, softmax, categorical cross-entropy;

-Regression — 1 neuron, linear activation, MSE/MAE.

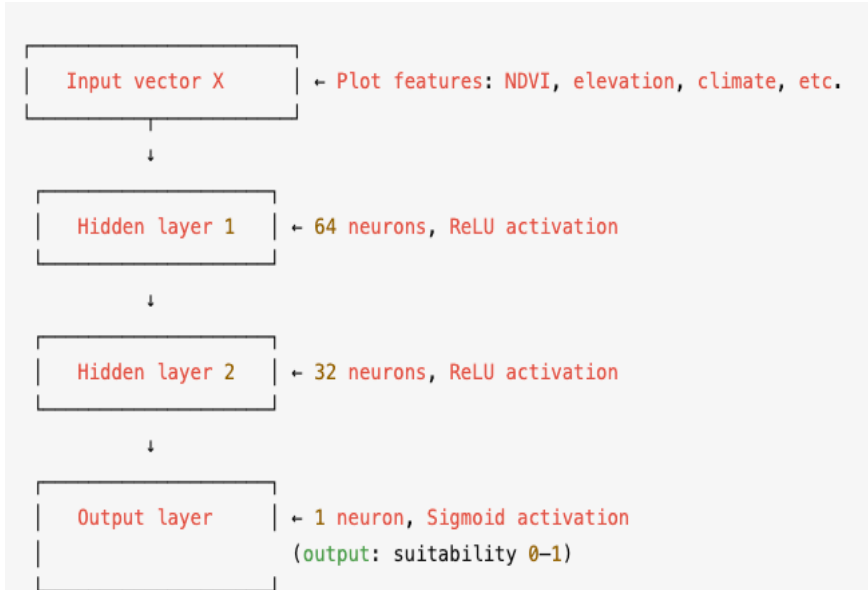


Fig. 8. MLP architecture for territorial suitability modeling: input geospatial feature vector → dense layers with ReLU, dropout, and batch normalization → task-specific output (sigmoid/softmax/linear). General methodology for analyzing three-dimensional data using ML

Figure 8. MLP architecture for territorial suitability modelling: input geospatial feature vector → dense layers with ReLU (Table 1), dropout and batch normalization → task-specific output (sigmoid/softmax/linear).

Table 1. MLP architecture used three hidden layers:

Layer	Neurons	Activation	Dropout
Hidden 1	128	ReLU	0.2
Hidden 2	64	ReLU	0.25
Hidden 3	32	ReLU	0.25

Two main neural network architectures were employed:

1. Multilayer Perceptron (MLP):

Input: tabular features (elevation, NDVI, NDBI, temperature, precipitation, distance to infrastructure).

Hidden layers: nonlinear transformations using ReLU activation.

Output: binary classification (suitable/unsuitable for residential development).

2. Convolutional Neural Networks (CNN):

Input: raster tiles (Sentinel-2 imagery, DEM slices).

Layers: convolution + pooling to extract spatial patterns.

Output: multi-class land-use prediction.

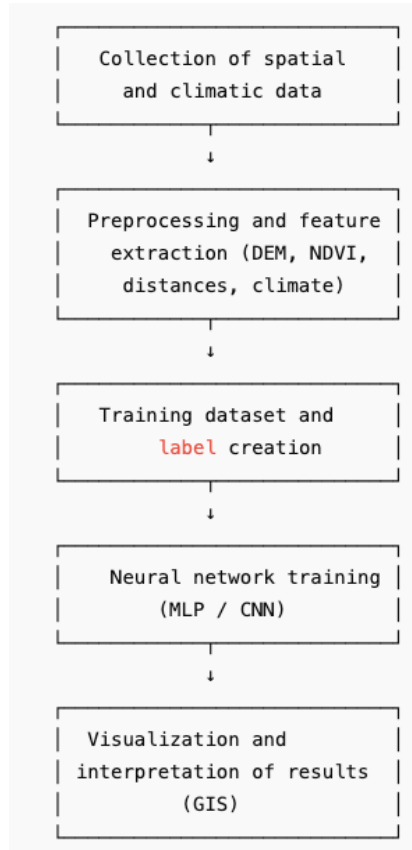


Fig.9. General methodology for analyzing 3D data using ML

The neural networks were trained using the Adam optimizer with a learning rate of 0.001. The training dataset consisted of 12,480 grid cells with a spatial resolution of 100×100 m. The dataset was divided into training (70 %), validation (15 %), and testing (15 %) subsets. The models were trained for 100 epochs with a batch size of 32. Early stopping with a patience of 10 epochs was applied to prevent overfitting.

Results and discussion.

The proposed methodology demonstrates the potential of machine learning techniques for improving territorial planning in Kazakhstan. By integrating Copernicus Sentinel imagery, ERA5 climate data, and OpenStreetMap spatial layers, a comprehensive geospatial dataset was constructed for modeling urban suitability in Alatau City. The models included Convolutional Neural Networks (CNN) for image-based spatial analysis, Multilayer Perceptron (MLP) for tabular GIS attributes, and traditional machine learning algorithms such as Random Forest and Gradient Boosting. All models were trained using the same feature set, grid resolution (100×100 m), and evaluation protocol to ensure comparability.

To evaluate the effectiveness of the proposed approach and identify the most suitable model for territorial suitability evaluation, several machine learning algorithms were trained and tested using the same geospatial dataset for Alatau City (Table 2).

The dataset was divided into training (70%), validation (15%), and testing (15%) subsets. Model performance was evaluated using commonly used metrics including Accuracy, Precision, Recall, F1-Score, Root Mean Square Error (RMSE), and the coefficient of determination (R^2).

Table 2. Performance comparison of machine learning models for territorial suitability evaluation.

Model	Accuracy	F1-Score	Precision	Recall	RMSE	R^2
CNN (image-based)	0.93	0.91	0.92	0.89	0.087	0.89
MLP (tabular)	0.88	0.86	0.85	0.87	0.115	0.81
Random Forest	0.83	0.78	0.80	0.76	0.145	0.74
Gradient Boosting	0.85	0.82	0.83	0.81	0.130	0.76

In addition to deep learning models (CNN and MLP), traditional machine learning algorithms such as Random Forest and Gradient Boosting were also evaluated. This comparison allows assessment of whether deep neural networks provide significant advantages over classical machine learning approaches for territorial suitability modeling.

The results demonstrate that the CNN model achieved the highest classification performance among individual models, primarily due to its ability to capture spatial patterns from raster-based data such as satellite imagery and digital elevation models.

The MLP model also produced strong results when analyzing tabular GIS attributes, including elevation, NDVI, climate indicators, and distance to infrastructure.

Traditional machine learning algorithms such as Random Forest and Gradient Boosting performed reasonably well but lacked the capacity to extract spatial context from high-resolution imagery.

This superior performance is attributed to the CNN's ability to capture spatial hierarchies and context from raster-based inputs such as satellite imagery and DEM. By applying convolutional filters, CNNs can detect local patterns—such as built-up density, vegetation fragmentation, or terrain morphology—that are often missed by tabular models. This makes CNN particularly effective in recognizing urban sprawl, land cover transitions, and other geographically distributed phenomena. The MLP model showed strong results in tabular feature-based suitability scoring ($R^2 = 0.81$), effectively integrating climatic, topographic, and infrastructural indicators. Traditional ML models (Random Forest and Gradient Boosting) performed reasonably well but lacked the spatial-context awareness and deep representation learning capabilities of CNN and MLP.

To effectively process both raster-based 3D geospatial data (DEM, Sentinel-2 imagery, NDVI, NDBI) and structured tabular data (elevation, slope, precipitation, road accessibility, distance to infrastructure), a hybrid CNN–MLP architecture was developed (Fig. 10). This integrated model leverages:

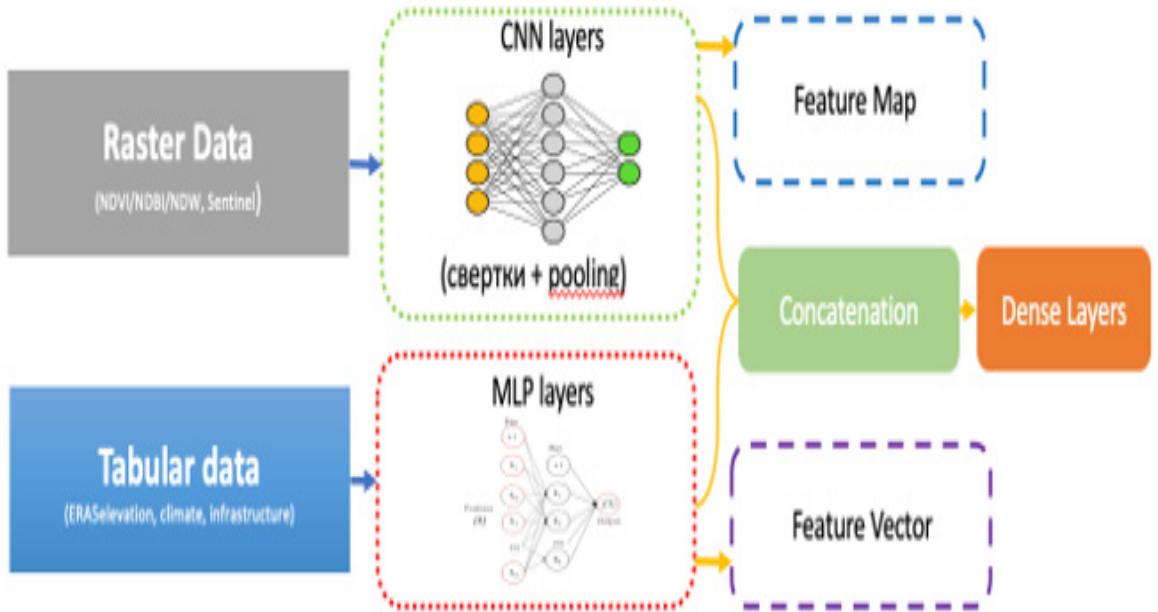


Fig.10. Hybrid CNN–MLP Architecture for Territorial Suitability Modeling

Table 3 summarizes the functional structure, input data types, and analytical strengths of the hybrid CNN–MLP architecture developed for territorial suitability modeling in Alatau City. The CNN component is responsible for extracting spatial and morphological patterns from raster-based datasets, including Sentinel-2 satellite imagery, DEM elevation models, NDVI, and NDBI indices. These layers capture highly localized information on land cover, vegetation, built-up intensity, and terrain morphology, which are essential for detecting urban sprawl, ecological zones, and potential flood-prone areas.

Table 3. Characteristics of the Hybrid CNN–MLP Architecture for Territorial Suitability Modeling

Component	Input Data	Strength
CNN (Convolutional Neural Network)	Raster tiles (Sentinel-2, DEM, NDVI, built-up index)	Detects spatial patterns and morphology (roads, vegetation, urban density)
MLP (Multilayer Perceptron)	Tabular GIS features (elevation, climate, proximity to roads, socio-economic layers)	Captures numeric, categorical, climatic and topographic indicators
Fusion Layer	Concatenated latent features from CNN and MLP	Joint decision-making using spatial + geospatial context

In contrast, the MLP component processes structured tabular features derived from GIS, climate, and infrastructure layers, such as elevation, slope, temperature, precipitation, distance to transport networks, schools, hospitals, and land-use zoning. These predictors provide contextual geospatial and environmental characteristics that cannot

be captured from imagery alone. In addition to improving accuracy, the hybrid model enhances interpretability by enabling planners to assess which spatial or tabular factors influence predictions. This dual-architecture approach also allows for robustness across different data modalities, compensating for limitations in either spatial granularity or attribute completeness. It is especially useful in real-world urban planning, where both spatial patterns and socioeconomic context are critical for informed decision-making.

Such hybrid integration allows the model to capture both horizontal (spatial-contextual) and vertical (feature-based) relationships within the urban landscape. As a result, the hybrid CNN–MLP (Table 4) model demonstrated superior performance (Accuracy = 0.95, $R^2 = 0.92$) compared to standalone CNN, MLP, and traditional machine learning models. This confirms that combining raster-based and feature-based learning provides a more holistic and accurate assessment of land suitability for residential, infrastructural, and climate-resilient urban planning.

Table 4. Performance of hybrid vs standalone models

Model	Accuracy	F1-score	RMSE	R^2
CNN only	0.93	0.91	0.087	0.89
MLP only	0.88	0.86	0.115	0.81
Hybrid CNN–MLP	0.95	0.93	0.072	0.92

By applying Principal Component Analysis (PCA) in combination with MLP and CNN neural architectures, the framework enabled the systematic evaluation of land suitability for residential and infrastructural development in Alatau City.

Main outcomes of the study:

Improved accuracy of land suitability assessment: ML-based models showed higher classification performance compared to traditional GIS-based evaluation methods, particularly when combining topographic, climatic, and vegetation indices.

Integration of multidimensional factors: The methodology simultaneously accounted for elevation, slope, vegetation cover, temperature, precipitation, and infrastructural accessibility, providing a holistic view of urban development conditions.

Use of open-access data sources: Reliance on openly available international datasets (Copernicus, ERA5, OSM) ensures replicability, transparency, and scalability of the methodology for other urban districts in Kazakhstan.

Limitations and future challenges: Despite the promising results, the models remain sensitive to input data quality, particularly the spatial resolution and completeness of open-source datasets. Low-resolution DEMs or outdated satellite imagery can reduce prediction reliability. Additionally, model scalability to other districts may require re-training or domain adaptation. Interpretability of deep learning models also remains a challenge, particularly when applying results in policy-making. Future research should explore explainable AI (XAI) tools and real-time data integration.

This problem encompasses the necessity to optimize ML models for heterogeneous data sources, reduce uncertainties associated with climate projections, and ensure interpretability of predictions in real-world urban planning practices. Addressing this

research gap will provide the foundation for data-driven, adaptive, and sustainable territorial management in rapidly urbanizing regions such as Alatau City.

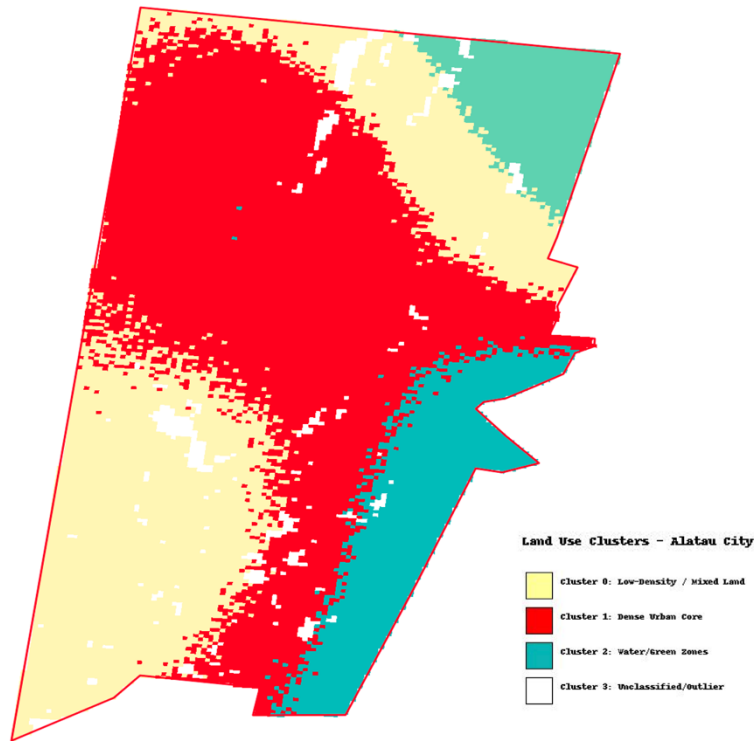


Fig.11. The resulting land-use classification map for Alatau City

Figure 11 presents the resulting land-use classification map for Alatau City generated using the trained CNN model combined with the hybrid CNN–MLP architecture. The classification was performed using supervised learning, where training samples were derived from Copernicus land cover data and OpenStreetMap infrastructure layers. The model identified several major land-use categories across the study area.

The resulting map distinguishes four primary spatial classes:

Class 0 – Low-density mixed land use, including peri-urban zones and transitional development areas

Class 1 – Dense urban development, characterized by high building density and road infrastructure

Class 2 – Vegetation and ecological zones, including parks, forested areas, and agricultural land

Class 3 – Water bodies and natural surfaces

The spatial distribution of these classes corresponds well with known urban structures of Alatau City, where dense urban areas are concentrated in the central and eastern parts of the district, while vegetated and ecological zones dominate the southern

mountainous regions.

The classification results confirm that the integration of multi-source datasets (NDVI, NDBI, DEM, climate variables, and infrastructure layers) significantly improves the reliability of land-use prediction.

The comparison of machine learning models demonstrates that deep learning approaches outperform traditional algorithms in capturing spatial patterns from multi-source geospatial datasets. However, Random Forest and Gradient Boosting remain valuable baseline models due to their interpretability and lower computational cost.

Conclusion.

This study demonstrated the effectiveness of modern machine learning techniques, particularly hybrid deep learning architectures, for analyzing three-dimensional geospatial data in territorial planning using Alatau City as a case study. By integrating Copernicus Sentinel imagery, ERA5 climate reanalysis, OSM infrastructure data, and QGIS spatial layers, we constructed detailed 3D models that accurately captured spatial complexity, climatic variability, and infrastructural accessibility.

The proposed methodology, based on CRISP-DM principles, combined PCA-driven dimensionality reduction with a hybrid CNN–MLP architecture. Unlike standalone CNN or MLP models, the hybrid model leveraged both raster-based spatial features (extracted by CNN) and structured geospatial attributes (processed by MLP), enabling more comprehensive land suitability assessment. This resulted in the highest overall performance (Accuracy = 0.95, F1-score = 0.93, $R^2 = 0.92$) compared to standalone CNN and MLP models or traditional machine learning methods such as Random Forest and Gradient Boosting.

The results confirm that hybrid CNN–MLP architectures provide enhanced generalization capabilities, integrating environmental, topographic, climatic, and infrastructural variables for urban suitability prediction and land-use classification. This approach not only improves prediction accuracy but also enhances the reliability of spatial analysis for urban growth forecasting, flood vulnerability assessment, and sustainable development planning.

Key contributions of the study include:

- Demonstration of the superiority of hybrid CNN–MLP models for territorial planning tasks;

- Integration of spatial imagery, terrain models, climate variables, and infrastructure layers into unified GIS–ML workflows;

- Development of a scalable framework for digital twin development and data-driven urban governance in Kazakhstan.

However, certain challenges remain, including limited interpretability of deep models, sensitivity to incomplete or low-resolution geospatial datasets, and the lack of integrated socio-economic layers such as population density, land values, and accessibility indices. To address these issues, future work should focus on developing explainable AI (XAI) tools to visualize and interpret model decisions, especially for municipal stakeholders. Further research is also needed to explore model generalization across

diverse urban contexts beyond Alatau City, enabling transfer learning and regional scaling. Additionally, ensemble learning strategies and uncertainty quantification should be incorporated to improve robustness and trustworthiness of predictions in operational planning settings.

Practical implications of this work include the deployment of hybrid CNN–MLP models within digital twin environments to support real-time urban simulations and scenario testing. The approach can be used to develop early-warning systems for flood risk zones, optimize land allocation for new residential development, and prioritize infrastructure investments based on spatial suitability. Urban planners and decision-makers can also apply the proposed framework in GIS-integrated dashboards, enabling data-driven governance in rapidly urbanizing regions of Kazakhstan and beyond.

REFERENCES

- Abdi, A.M. (2020). Land cover and land use classification performance of machine learning algorithms in a boreal landscape using Sentinel-2 data // *GIScience & Remote Sensing*. — Vol. 57. — Pp. 1–20. <https://doi.org/10.1080/15481603.2019.1650447> [in Eng].
- Chen, C., Yan, J., Wang, L., Liang, D. & Zhang, W. (2021). Classification of urban functional areas from remote sensing images and time-series user behavior data // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. — Vol. 14. — Pp. 1207–1221. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3044250> [in Eng].
- Chen, W., Wu, A.N. & Biljecki, F. (2021). Classification of urban morphology with deep learning: Application on urban vitality // *Computers, Environment and Urban Systems*. — Vol. 90. — 101706. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2021.101706> [in Eng].
- Costa, D.G., Bittencourt, J.C.N., Oliveira, F., Peixoto, J.P.J. & Jesus, T.C. (2024). Achieving sustainable smart cities through geospatial data-driven approaches. — *Sustainability*. — Vol. 16(2). — 640. <https://doi.org/10.3390/su16020640> [in Eng].
- Chaturvedi, V. & de Vries, W.T. (2021). Machine learning algorithms for urban land use planning: A review. — *Urban Science*. — Vol. 5(3). — 68. <https://doi.org/10.3390/urbansci5030068> [in Eng].
- Döllner, J. (2020). Geospatial artificial intelligence: Potentials of machine learning for 3D point clouds and geospatial digital twins // PFG. *Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*. — Vol. 88. — Pp. 15–24. <https://doi.org/10.1007/s41064-020-00102-3> [in Eng].
- Gharaibeh, A.A., Jaradat, M.A. & Kanaan, L.M. (2023). A machine learning framework for assessing urban growth of cities and suitability analysis. — *Land*. — Vol. 12(1). — 214. <https://doi.org/10.3390/land12010214> [in Eng].
- Jun, M.-J. (2023). Simulating Seoul’s greenbelt policy with a machine learning-based land-use change model. — *Cities*. — Vol. 143. — 104580. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104580> [in Eng].
- Koldasbayeva, D., Tregubova, P., Gasanov, M., et al. (2024). Challenges in data-driven geospatial modeling for environmental research and practice. *Nature Communications*. — Vol. 15(1). — 10700. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-55240-8> [in Eng].
- Kuras, A., Brell, M., Rizzi, J. & Burud, I. (2021). Hyperspectral and lidar data applied to the urban land cover machine learning and neural-network-based classification: A review. *Remote Sensing*. — Vol. 13(17). — 3393. <https://doi.org/10.3390/rs13173393> [in Eng].
- Li, Z., Chen, B., Wu, S., Su, M., Chen, J.M. & Xu, B. (2024). Deep learning for urban land use category classification: A review and experimental assessment // *Remote Sensing of Environment*. — Vol. 311. — 114290. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114290> [in Eng].
- Mohamad, A.A., Ujang, U., Azri, S., et al. (2026). Enhancing 3D geospatial modelling through multimodal data and machine learning: A systematic literature review // *Spatial Information Research*. — Vol. 34. — Article 12. <https://doi.org/10.1007/s41324-025-00659-4> [in Eng].
- Vali, A., Comai, S. & Matteucci, M. (2020). Deep learning for land use and land cover classification based on hyperspectral and multispectral Earth observation data: A review. — *Remote Sensing*. — Vol. 12(15). — 2495. <https://doi.org/10.3390/rs12152495> [in Eng].
- Talukdar, S., Singha, P., Mahato, S., Shahfahad, Pal, S., Liou, Y.-A. & Rahman, A. (2020). Land-use land-cover classification by machine learning classifiers for satellite observations. A review. — *Remote Sensing*. —



Vol. 12(7). — 1135. <https://doi.org/10.3390/rs12071135> [in Eng].

Tokbergenova, A., Ryskeldiyeva, A., Mussagaliyeva, A., Skorintseva, I., Kaliyeva, D., Beimbetov, A., Mukhtarov, U. & Bilalov, B. (2025). Assessment of landscape resilience to anthropogenic impact in the Western Kazakhstan region. — *Sustainability*. — Vol. 17(19). — 8584. <https://doi.org/10.3390/su17198584> [in Eng].

Salmurzauly, R., Zulpykharov, K., Tokbergenova, A., Kaliyeva, D. & Bilalov, B. (2025). Ecological vulnerability of lands of Western Kazakhstan: Analysis based on MEDALUS model and remote sensing. — *Sustainability*. — Vol. 17(22). — 9990. <https://doi.org/10.3390/su17229990> [in Eng].

Singh, R.K., Singh, P., Drews, M., Kumar, P., Singh, H., Gupta, A.K., Govil, H., Kaur, A. & Kumar, M. (2021). A machine learning-based classification of LANDSAT images to map land use and land cover of India. — *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. — Vol. 24. — 100624. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100624> [in Eng].

Yegizbayeva, A., Aitekeyeva, N., Konstantinova, K., Bekmukhamedov, N., Zhumabay, N. & Balgabayev, N. (2025). Geospatial technology utilization for evaluating land suitability for irrigation. — *Sustainability*. — Vol. 17(22). — 10131. <https://doi.org/10.3390/su172210131> [in Eng].

Zhao, S., Tu, K., Ye, S., Tang, H., Hu, Y. & Xie, C. (2023). Land use and land cover classification meets deep learning: A review. — *Sensors*. — Vol. 23(21). — 8966. <https://doi.org/10.3390/s23218966> [in Eng].

Zhang, C., Sargent, I., Pan, X., Li, H., Gardiner, A., Hare, J. & Atkinson, P.M. (2019). Joint deep learning for land cover and land use classification // *Remote Sensing of Environment*. — Vol. 221. — Pp. 173–187. <https://doi.org/10.1016/j.rsce.2018.11.014> [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).