

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. 3 (27). 2026
July–September

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ
ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ**

2020 жылдан бері шығарылады
Том 7. 3 (27). 2026
Шілде–Қыркүйек

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Издается с 2020 г.
Том 7. 3 (27). 2026
Июль–Сентябрь

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)

Bakhtgerai 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 Yeskendirowa — 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 Түлегеновна — 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)

Лучино 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 Мұхтарбай 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 Тоқсуажасвич — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті цифрландыру және инновациялар жөніндегі проректор (Қазақстан)

Синчев Бахтгерей Кусанович — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының профессоры (Қазақстан)

Сейлова Нургуль Абадуллаевна — 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)

Абикаликова Замира Тұрсынбаевна — 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)

Дамеля Максұтовна Ескендірова — 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)

Тадеш 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)

Бушуев Сергей Дмитриевич — техника ғылымдарының докторы, профессор, Украинаның "УКРНЕТ" жобаларды басқару қауымдастығының директоры, Киев ұлттық құрылыс және сулест 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)

Дамеуш Максустовна Ескендирова — 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 Сахбай — кандидат технических наук, профессор, профессор-исследователь кафедры компьютерной инженерии, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Алимсерб 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)

Белошицкая 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 социо-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.Adalbek, S.Ye. Kerimkhulle, K.D. Kuliev, O. Mekesh, Zh.Zh. Khamitova DEVELOPMENT OF RESULT-ORIENTED DATA SMOOTHING MODELS AND ANALYSIS OF THEIR EFFECTIVENESS	11
A.T. Iskakova, G.E. Kurmankulova, K. Gromaszek, K.O. Togzhanova, R.S. Algozhayeva APPLICATION OF MACHINE LEARNING AND DEEP LEARNING FOR PREDICTIVE PLANNING AND RESOURCE EFFICIENCY IN PRODUCTION SYSTEMS	30
A.B. Kassymova, R.K. Uskenbayeva, Zh.A. Sydykov, D. Omirzak, S. Kalibekov ARCHITECTURE OF AN INTELLIGENT CHATBOT FOR SMART CITY: AI-BASED RECEIVING, ANALYSIS AND ROUTING OF CITIZEN REQUESTS	46
O.M. Olzhayev, B.S. Omarov, A. Suliman YOLO-CBAM: A LIGHTWEIGHT NEURAL NETWORK MODEL WITH INTEGRATED ATTENTION MECHANISM FOR ROAD DAMAGE ANALYSIS	66
K. Yermagambetova, A. Sarsekeyeva, Y. Akhlassov OVERCOMING FRAGMENTATION IN THE CLASSIFICATION OF DIGITAL CULTURAL HERITAGE: AN INTEGRATIVE MULTIDIMENSIONAL MODEL	78

INFORMATION TECHNOLOGY

D. Abzhanova, S. Sharipova ARCHITECTURE AND PRACTICAL IMPLEMENTATION OF A DIGITAL PLATFORM FOR MONITORING AND DATA EXCHANGE ON TRANSBOUNDARY WATER RESOURCES IN THE ZHAMBYL REGION	101
A. Aitanuly, O.A. Ussatova ENHANCING TWO-FACTOR AUTHENTICATION FOR CLOUD HEALTHCARE SECURITY: THE ROLE OF DEEP LEARNING	122
O. Alseitov, O. Kuchanskyi PHYSICS-INFORMED HYBRID LEARNING FOR HOURLY POWER-PLANT EMISSIONS: A MULTI-POLLUTANT BENCHMARK WITH UNCERTAINTY AND TRANSFER	141
A.M. Akhmetova, D.O. Baizhanova, Zh.N. Alisheva, B.A. Shaimov ADAPTIVE OUTPUT ROUTER FOR NATURAL LANGUAGE MODELS CONSIDERING KEY PERFORMANCE INDICATORS	160
A.K. Aitim AUTOMATIC AND SEMI-AUTOMATIC ANNOTATION OF KAZAKH TEXT CORPORA	180
Z.E. Balabayev, S.V. Biloshchytska HANDWRITTEN TEXT RECOGNITION FOR CHAGATAI MANUSCRIPTS: COMPARING CRNN TRAINING FROM SCRATCH AND TRANSFORMER-BASED TRANSFER LEARNING	198
D.B. Baumuratova, T.K. Zhukabayeva, K.A. Abdrakhmanov, Z. Ahmad, A.A. Seitov A NEURO-DIGITAL LEARNING MODEL FOR AI DRIVEN DIGITAL TRANSFORMATION IN HIGHER EDUCATION	219
T. Daoyun, G.A. Amirkhanova, Fu Yanwei, Y. Faruzkyzy MULTIMODAL SEMANTIC MANIPULATION IN FAKE VIDEOS AND ITS INFLUENCE MECHANISM ON USERS' PERCEIVED TRUST	241
Zh. Doumcharyev, J. Tussupov, A. Akynbekova, M. Khassanova, M. Kassim ENSEMBLE AND HYBRID LEARNING FOR DIGITAL TWIN MILK CLASSIFICATION	258
K.Z. Igibayev, A.Kh. Kozbakova, O. Auelbekov , T. Merembayev, K. Yessentayev STUDY OF A DYNAMIC MIXING DEVICE IN A BIOREACTOR USING IOT TECHNOLOGIES	279
A.N. Ismukanova, G. Kochshanova, D.V. Pleskachev, Zh. Sarsenbayeva, P. Schmidt AUTOMATED CLASSIFICATION OF SCIENTIFIC DATA USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE: A COMPARATIVE ANALYSIS OF TRANSFORMER ARCHITECTURES AND HYBRID APPROACHES	306
T. Zh. Kamalov, Ali Abd. Almisreb, Mohammed A. Saleh INVESTIGATION OF HYBRID QUANTUM-CLASSICAL ALGORITHMS FOR MACHINE LEARNING	323
B. Karimkyzy, K.G. Karasenko, N.A. Alisherov, N.M. Muratbek, A. Karim	

KEY PUBLICATIONS OF 2021–2025 ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS IN THE MANUFACTURING AND DIAGNOSTICS OF MEDICAL DEVICES FOR GLYCEMIC MONITORING: A THEMATIC ANALYTICAL REVIEW	338
S.K. Kumyzbaeva, K.E. Baglanbaev, K.S. Sarkyt, M.Zh. Konyrova THREE-PHASE TRAINING OF INTELLIGENT ENERGY MANAGEMENT FOR A HYBRID ENERGY SYSTEM WITH A CLIMATE-AWARE STATE REPRESENTATION	357
N.E. Karabayev, S.K. Serikbayeva, E. Benkhelif, B. Tassuov RESEARCH ON THE ROBUSTNESS OF ENSEMBLE MACHINE LEARNING MODELS TO ADVERSARIAL ATTACKS IN INTRUSION DETECTION SYSTEMS FOR IOT NETWORKS	369
M. Nurtas, G. Kapyshev A METHODOLOGICAL FRAMEWORK FOR THE PREPROCESSING AND INTEGRATION OF GEOSPATIAL AND GEOPHYSICAL DATA FOR MINERAL PROSPECTIVITY PREDICTION USING MACHINE LEARNING	392
A. Neftissov, A. Biloshchytskyi, I. Kazambayev, A. Medetkhan, L. Kirichenko ENERGY EFFICIENT MICROCLIMATE STABILIZATION FOR SEALED ARCHIVAL STORAGE ENCLOSURES	405
A.Zh. Omurtayeva, U.T. Makhazhanova, A.K. Adilova, Sh.K. Yelezhanova, J. Kultan AN ADAPTIVE NEURAL-FUZZY MODEL FOR ASSESSING INVESTMENT RISKS IN THE AGRI-INDUSTRIAL COMPLEX: ODERNISATION OF THE DECISION-SUPPORT ARCHITECTURE THROUGH THE INTEGRATION OF MACHINE LEARNING	421
N. Shazhdekeyeva, A. Mukhanbetkaliyeva, A. Abdigaliyeva, A. Zhanekezhova, L. Nurgaliyeva COMPARATIVE ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS OF COLLABORATIVE FILTERING IN THE DEVELOPMENT OF A MOVIE RECOMMENDER SYSTEM	445
S. Sharmukhanbet, G. Turmukhanova, O. Findik, V. Makhatova, M. Rakhmetov AN INTELLIGENT PIPELINE DEFECT DETECTION SYSTEM USING AN IN-PIPE ROBOT	461

INFORMATION SECURITY AND COMMUNICATIONTECHNOLOGIES

S.Z. Daruish, A.U. Utegenova, A.U. Kalizhanova, Zh.Zh. Zhumabekova MACHINE LEARNING FOR POLLUTION CLASSIFICATION IN ROCKET BOOSTER IMPACT AREAS	480
S.N. Issabayeva, A.K. Rysbayeva, Zh.B. Ibrayeva, N.R. Mussabekov, N.Sh. Akimzhan MACHINE LEARNING-BASED CYBERATTACK DETECTION IN OT-NETWORKS: A COMPARATIVE ANALYSIS OF NETWORK ANOMALY CLASSIFICATION METHODS	495
G. Shangtybayeva, A.N. Amanov, M.K. Issenova, G.E. Berikkhanova, K.O. Shakerkhan INFORMATION SECURITY IN GOVERNMENT CLOUD SERVICES: RISK ASSESSMENT AND PROTECTION STRATEGIES	512
Ye. N. Tursynbek, N. Albanbay, D. Djenouri OPTIMISATION OF COMMUNICATION COSTS IN TWO-TIER FEDERATED LEARNING FOR CYBERATTACK DETECTION IN IOT NETWORKS	529
A. Tastemirov, S.B. Mukhanov, S.T. Amanzholova, B. Aldosh A COMPARATIVE EVALUATION OF MACHINE LEARNING MODELS FOR ACTIVE DIRECTORY THREAT DETECTION: FEATURE-LEAKAGE CONTROL AND CROSS-SCENARIO VALIDATION ON WINDOWS SECURITY EVENT LOGS	545

МАЗМУНЫ

ӘЛЕУМЕТТІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ДАМУДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

А. Адалбек, С.Е. Керімқұл, К.Д. Кулиев, О. Мекеш, Ж.Ж. Хамитова ДЕРЕКТЕРДІҢ НӘТИЖЕ БАҒДАРЛАНҒАН ТЕГІСТЕУ МОДЕЛЬДЕРІН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ТИІМДІЛІГІН ТАЛДАУ	11
А.Т. Искакова, Г.Е. Курманкулова, Конрад Громашек, К.О. Тогжанова, Р.С. Алгожаева ӨНДІРІС ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ БОЛЖАМДЫ ЖОСПАРЛАУ ЖӘНЕ РЕСУРСТАРДЫ ҮНЕМДЕУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ЖӘНЕ ТЕРЕҢ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНУ	30
А.Б. Касымова, Р.К. Ускенбаева, Ж.А. Сыдыков, Д. Өмірзақ, С. Калибеков SMART CITY ҮШІН ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ЧАТ-БОТ АРХИТЕКТУРАСЫ: АЗАМАТТАРДЫҢ	

ӨТІНІШТЕРІН ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ НЕГІЗІНДЕ ҚАБЫЛДАУ, ТАЛДАУ ЖӘНЕ БАҒЫТТАУ	46
О.М. Олжаев, Б.С. Омаров, А.Сулман	
YOLO-SVAM: ЖОЛДЫҢ ЗАҚЫМДАНУЫН ТАЛДАУҒА АРНАЛҒАН ИНТЕГРАЦИЯЛАНҒАН ЗЕЙІН МЕХАНИЗМІ БАР ЖЕҢІЛ САЛМАҚТЫ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІ МОДЕЛІ	66
К. Ермагамбетова, А. Сарсекеева, Е. Ахласов	
ЦИФРЛЫҚ МӘДЕНИ МҰРАНЫ ЖІКТЕУДЕГІ ФРАГМЕНТАЦИЯНЫ ЕҢСЕРУ: ИНТЕГРАТИВТІ КӨПӨЛШЕМДІ МОДЕЛЬ	78

АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Д.Е. Абжанова, С.Е. Шарипова	
ЖАМБЫЛ Өңірінің Трансшекаралық СУ Ресурстарын Мониторингтеу және Деректер Алмасуға Арналған Цифрлық Платформаның Архитектурасы мен Практикалық Іске Асырылуы	101
А.Айтанұлы, О.А. Усатова	
БҮЛТТІ МЕДИЦИНАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДЕ ЕКІ ФАКТОРЛЫ АУТЕНТИФИКАЦИЯНЫ ЖАҚСARTУ: ТЕРЕҢ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІНІҢ ҚОЛДАНУ МҮМКІНДІКТЕРІ	122
О. Альсеитов, О. Кучанский	
ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ САҒАТТЫҚ ШЫҒАРЫНДЫЛАРЫН ФИЗИКАЛЫҚ ЗАҢДЫЛЫҚТАРДЫ ЕСКЕРЕТІН ГИБРИДТІ ОҚЫТУ: БЕЛГІСІЗДІК ПЕН ТАСЫМАЛДАУДЫ ЕСКЕРЕТІН КӨПЛАСТАУЫШТЫ БЕНЧМАРК	141
А.М. Ахметова, Д.О. Байжанова, Ж.Н. Алишева, Б.А. Шаймов	
КРІ КӨРСЕТКІШТЕРІН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, ТАБИҒИ ТІЛ МОДЕЛЬДЕРІНЕ АРНАЛҒАН ШЫҒЫС МАРШРУТТАУЫНЫҢ АДАПТИВТІ ЖҮЙЕСІ	160
Ә.Қ. Әйтiм	
ҚАЗАҚ МӘТiНДiК КОРПУСТАРЫН АВТОМАТТЫ ЖӘНЕ ЖАРТЫЛАЙ АВТОМАТТЫ АННОТАЦИЯЛАУ	180
Ж.Е. Балабаев, С.В. Белошицкая	
ШАҒАТАЙ ҚОЛЖАЗБАЛАРЫНЫҢ МӘТiНiН ТАНУ: CRNN-дi НӨЛДЕН БАСТАП ОҚЫТУ МЕН ТРАНСФОРМЕР НЕГiЗiНДЕГi ТРАНСФЕРЛiК ОҚЫТУДЫ САЛЫСТЫРУ	198
Д.Б. Баумуратова, Т.К. Жукабаева, К.А. Абдрахманов, З. Ахмад, А.А. Сеитов	
ЖОҒАРЫ БЛiМ БЕРУДЕ Аi НЕГiЗДЕЛГЕН ЦИФРЛЫҚ ТРАНСФОРМАЦИЯҒА АРНАЛҒАН НЕЙРО-ЦИФРЛЫҚ ОҚЫТУ МОДЕЛi	219
Т. Даоюн, Г. Амирханова, Фу Яньвэй, Е. Фарузкызы	
ФЕЙК ВИДЕОЛАРДАҒЫ МУЛЬТИМОДАЛЬДЫ СЕМАНТИКАЛЫҚ МАНИПУЛЯЦИЯНЫҢ ПАЙДАЛАНУШЫЛАРДЫҢ ҚАБЫЛДАЙТЫН СЕНiМiНЕ ӘСЕР ЕТУ МЕХАНИЗМi	241
Ж. Доумчариева, Д. Тусупов, А. Акынбекова, М. Хасанова, М. Кассим	
ЦИФРЛЫҚ ЕГiЗДЕГi СУТ САПАСЫН АНСАМБЕЛДiК ЖӘНЕ ГИБРИДТi ОҚЫТУ АРҚЫЛЫ ЖiКТЕУ	258
Қ.З. Иггибаев, А.Х. Козбакова, О. Әуелбеков, Т. Мерембаев, Қ. Есентаев	
БИОРЕАКТОРДА IoT ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП ДИНАМИКАЛЫҚ АРАЛАСТЫРУ ҚҰРЫЛҒЫСЫН ЗЕРТТЕУ	279
А.Н. Исмуханова, Г.Кошанова, Д.В. Плескачев, Ж.Сарсенбаева, П. Шмидт	
ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ НЕГІЗІНДЕ ҒЫЛЫМИ ДЕРЕКТЕРДІ АВТОМАТТЫ ТҮРДЕ ЖІКТЕУ: ТРАНСФОРМЕР АРХИТЕКТУРАЛАРЫ МЕН ГИБРИДТІ ТӘСІЛДЕРДІҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ	306
Т.Ж. Камалов, Али Абд. Альмисреб, Мохаммед А. Салех	
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУҒА АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ КВАНТТЫҚ-КЛАССИКАЛЫҚ АЛГОРИТМДЕРІН ЗЕРТТЕУ	323
Б. Кәрімқызы, К.Г. Карасенко, Н.А. Әлішеров, Н.М. Мұратбек, А. Кәрім	
2021–2025 ЖЫЛДАР АРАЛЫҒЫНДАҒЫ ГЛИКЕМИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГКЕ АРНАЛҒАН МЕДИЦИНАЛЫҚ ҚҰРЫЛҒЫЛАРДЫ ӨНДІРУ ЖӘНЕ ДИАГНОСТИКАЛАУДАҒЫ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ӘДІСТЕРІ БОЙЫНША НЕГІЗГІ ЖАРИЯЛАНЫМДАР	338
С. К. Кумызбаева, К.Е. Багланбаев, К.С. Саркыт, М. Конырова	
КҮЙ-ЖАЙДЫ КЛИМАТҚА СЕЗІМТАЛ ҰСЫНУМЕН ГИБРИДТІ ЭНЕРГОЖҮЙЕНІҢ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТІН ҮШФАЗАЛЫ ОҚЫТУ	357
Н.Е. Қарабаев, С.К. Серикбаева, Е. Бенкхелифа, Б. Тасуов	

ЮТ-ЖЕЛІЛЕРІНДЕГІ БАСЫП КІРУДІ АНЫҚТАУ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫҢ АН-САМБЫДІ КҮЛГІЛЕРІНІҢ БӘСЕКЕЛЕС ШАБУЫЛДАРҒА ТӘЗІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ	369
М. Нұртас, Ғ. Капышев	
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ПАЙДАЛЫ ҚАЗБАЛАРДЫҢ ПЕРСПЕКТИВА-ЛЫЛЫҒЫН БОЛЖАУ ҮШІН ГЕОКЕҢІСТІКТІК ЖӘНЕ ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕРДІ АЛДЫН АЛА ӨНДЕУ ЖӘНЕ БІРІКТІРУДІҢ ӘДІСТЕМЕЛІК НЕГІЗІ	392
А. Нефтиссов, А. Билощицкий, И. Казамбаев, А. Медетхан, Л. Кириченко	
ГЕРМЕТИКАЛЫҚ АРХИВТІК САҚТАУ ҚАПТАМАЛАРЫНДА МИКРОКЛИМАТТЫ ЭНЕРГИЯ ТИІМДІЛІГІН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП ТҰРАҚТАНДЫРУ	405
Ә.Ж. Омуртаева, У.Т. Махажанова, А.К. Адилова, Ш.К. Ележанова, Я. Култан	
АГРОӨНЕРКӘСІПТІК КЕШЕНДЕГІ ИНВЕСТИЦИЯЛЫҚ ТӘУЕКЕЛДЕРДІ БАҒАЛАУҒА АРНАЛҒАН БЕЙІМДЕЛГІШ НЕЙРОНДЫҚ-БҰЛДЫР МОДЕЛЬ: МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ИНТЕГРАЦИЯЛАУ АРҚЫЛЫ ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУДЫ ҚОЛДАУ СӘУЛЕТІН ЖАҢҒЫрту	421
Н. Шаждекеева, А. Мұханбетқалиева, А. Әбдіғалиева, А. Жанекешова, Л. Нұрғалиева	
ФИЛЬМДЕРДІ ҰСЫНУ ЖҮЙЕСІН ҚҰРУ КЕЗІНДЕГІ КОЛЛАБОРАТИВТІК СҮЗГІЛЕУДІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ	445
С. Шармұханбет, Г. Тұрмұханова, О. Финдик, В. Махатова, М. Рахметов	
ҚҰБЫРШІЛІК РОБОТТЫ ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ ҚҰБЫР АҚАУЛАРЫН АНЫҚТАУДЫҢ ЗИЯТКЕР-ЛІК ЖҮЙЕСІ	461

АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРҒА АРНАЛҒАН

С.З. Дәруіш, А.У. Утегенова, А.У. Калижанова, Ж.Ж. Жумабекова	
ЗЫМЫРАН ТАСЫМАЛДАУШЫЛАРДЫҢ ҚҰЛАУ АЙМАҚТАРЫНЫҢ ЛАСТАНУЫН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУМЕН ЖІКТЕУ	480
С.Н. Исабаева, А.К. Рысбаева, Ж.Б. Ибраева, Н.Р. Муссабеков, Н.Ш. Акимжан	
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ НЕГІЗІНДЕ ОТ-ЖЕЛІЛЕРІНДЕГІ КИБЕРШАБУЫЛДАРДЫ АНЫҚТАУ: ЖЕЛІЛІК АНОМАЛИЯЛАРДЫ ЖІКТЕУ ӘДІСТЕРІНІҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ	495
Г.А. Шангытбаева, А.Н. Аманов, М.К. Исенова, Г.Е. Берикханова, Қ.О. Шакерхан	
МЕМЛЕКЕТТІК ОРГАНДАРДЫҢ БҰЛТТЫ СЕРВИСТЕРІНДЕГІ АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК: ТӘУЕКЕЛДЕРДІ БАҒАЛАУ ЖӘНЕ ҚОРҒАУ СТРАТЕГИЯЛАРЫ	512
Е.Н. Турсынбек, Н. Албанбай, Д. Дженоури	
ЮТ ЖЕЛІЛЕРІНДЕ КИБЕРШАБУЫЛДАРДЫ АНЫҚТАУ ҮШІН ЕКІ ДЕҢГЕЙЛІ ФЕДЕРАЦИЯЛАНҒАН ОҚЫТУДАҒЫ БАЙЛАНЫС ШЫҒЫНДАРЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУ	529
А. Тастемиров, С.Т. Аманжолова, Б. Алдош, С.Б. Муханов	
ACTIVE DIRECTORY ЖҮЙЕСІНДЕ ҚАУІПТЕРДІ АНЫҚТАУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ МОДЕЛЬ-ДЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ БАҒАЛАУ: WINDOWS ҚАУІПСІЗДІК Оқиғалары ЖУРНАЛДАРЫНДА БЕЛГІ ЖЫЛЫСТАУЫН БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ КРОСС-СЦЕНАРЛЫҚ ВАЛИДАЦИЯ	545

СОДЕРЖАНИЕ

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗВИТИИ СОЦИО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А. Адалбек, С.Е. Керимкулов, К.Д. Кулиев, О. Мекеш, Ж.Ж. Хамитова	
РАЗРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТИВНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ СГЛАЖИВАНИЯ ДАННЫХ И АНАЛИЗ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ	11
А.Т. Искакова, Г.Е. Курманкулова, К. Громашек, К.О. Тогжанова, Р.С. Алгожаева	
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО И ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ	30
А.Б. Касымова, Р.К. Ускенбаева, Ж.А. Сыдыков, Д. Омирзак, С. Калибеков	
АРХИТЕКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЧАТ-БОТА ДЛЯ SMART CITY: ПРИЁМ, АНАЛИЗ И МАРШРУТИЗАЦИЯ ОБРАЩЕНИЙ ГРАЖДАН НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	46
О.М. Олжаев, Б.С. Омаров, А. Suliman	
YOLO-SVAM: ЛЕГКОВЕСНАЯ НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ С ИНТЕГРИРОВАННЫМ МЕХАНИЗМОМ ВНИМАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ДОРОЖНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ	66
К. Ермагамбетова, А. Сарсекеева, Е. Ахласов	
ПРЕОДОЛЕНИЕ ФРАГМЕНТАЦИИ В КЛАССИФИКАЦИИ ЦИФРОВОГО КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ:	

ИНТЕГРАТИВНАЯ МНОГОМЕРНАЯ МОДЕЛЬ	78
--	----

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Д.Е. Абжанова, С.Е. Шарипова АРХИТЕКТУРА И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ МОНИТОРИНГА И ОБМЕНА ДАННЫМИ О ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСАХ ЖАМБЫЛСКОГО РЕГИОНА	101
А. Айтанулы, О.А. Усатова СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДВУХФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЛАЧНЫХ МЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМ: ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ	122
О. Альсеитов, О. Кучанский ФИЗИЧЕСКИ ИНФОРМИРОВАННОЕ ГИБРИДНОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ ПОЧАСОВОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫБРОСОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ: МНОГОКОМПОНЕНТНЫЙ БЕНЧМАРК С ОЦЕНКОЙ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ И ПЕРЕНОСИМОСТЬЮ МОДЕЛЕЙ	141
А.М. Ахметова, Д.О. Байжанова, Ж.Н. Алишева, Б.А. Шаймов АДАПТИВНЫЙ МАРШРУТИЗАТОР ВЫВОДА С УЧЕТОМ КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА	160
Ә.Қ. Әйтiм АВТОМАТИЧЕСКАЯ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ АННОТАЦИЯ КАЗАХСКИХ ТЕКСТОВЫХ КОРПУСОВ	180
Ж.Е. Балабаев, С.В. Белошицкая РАСПОЗНАВАНИЕ РУКОПИСНОГО ТЕКСТА ШАГАТАЙСКИХ РУКОПИСЕЙ: СРАВНЕНИЕ ОБУЧЕНИЯ SRNN С НУЛЯ И ТРАНСФЕРНОГО ОБУЧЕНИЯ НА БАЗЕ ТРАНСФОРМЕРОВ	198
Д.Б. Баумуратова, Т.К. Жукабаева, К.А. Абдрахманов, З. Ахмад, А.А. Сеитов НЕЙРО-ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ AI	219
Т. Даюян, Г. Амирханова, Фу Яньвэй, Е. Фарузкызы МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ СЕМАНТИЧЕСКОЙ МАНИПУЛЯЦИИ В ФЕЙКОВЫХ ВИДЕО НА ВОСПРИНИМАЕМОЕ ДОВЕРИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ	241
Ж. Дуумчариева, Д. Тусупов, А. Акынбекова, М. Хасанова, М. Кассим КЛАССИФИКАЦИЯ КАЧЕСТВА МОЛОКА В ЦИФРОВОМ ДВОЙНИКЕ АНСАМБЛЕВЫМИ И ГИБРИДНЫМИ МЕТОДАМИ	258
К.З. Игибаев, А.Х. Козбакова, О. Ауелбеков, Т. Мерембаев, К. Есентаев ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДИНАМИЧЕСКОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В БИОРЕАКТОРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ IoT	279
А. Н. Исмуканова, Г.Кошанова, Д.В. Плескачев, Ж.Сарсенбаева, П. Шмидт АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ НАУЧНЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАНСФОРМЕРНЫХ АРХИТЕКТУР И ГИБРИДНЫХ МЕТОДОВ	306
Т.Ж. Камалов, Али Абд. Альмисреб, Мохаммед А. Салех ИССЛЕДОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ КВАНТОВО-КЛАССИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	323
Б. Каримкызы, К.Г. Карасенко, Н.А. Алишеров, Н.М. Муратбек, А. Карим КЛЮЧЕВЫЕ ПУБЛИКАЦИИ 2021–2025 ГОДОВ ПО МЕТОДАМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОИЗВОДСТВЕ И ДИАГНОСТИКЕ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ГЛИКЕМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	338
С.К. Кумызбаева, К.Е. Багланбаев, К.С. Саркыт, М.Ж. Конырова ТРЕХФАЗОВОЕ ОБУЧЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА ГИБРИДНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С КЛИМАТО-ОСВЕДОМЛЁННЫМ ПРЕДСТАВЛЕНИЕМ СОСТОЯНИЯ	357
Н.Е. Карабаев, С.К. Серикбаева, Е. Бенкхелифа, Б. Тасуов ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ АНСАМБЛЕВЫХ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ К СОСТЯЗАТЕЛЬНЫМ АТАКАМ В СИСТЕМАХ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ IoT-СЕТЕЙ	369
М. Нуртас, Г. Капышев МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ И ИНТЕГРАЦИИ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНО-	

СТИ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	392
А. Нефтиссов, А. Билощицкий, И. Казамбаев, А. Медетхан, Л. Кириченко	
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ МИКРОКЛИМАТА В ГЕРМЕТИЧНЫХ АРХИВНЫХ ХРАНИЛИЩАХ	405
А.Ж. Омуртаева, У.Т. Махажанова, А.К. Адилова, Ш.К. Ележанова, Я.Култан	
АДАПТИВНАЯ НЕЙРО-НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ РИСКОВ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ: МОДЕРНИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПОСРЕДСТВОМ ИНТЕГРАЦИИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	421
Н. Шаждекеева, А. Муханбеткалиева, А. Абдигалиева, А. Жанекешова, Л. Нургалиева	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ КОЛЛАБОРАТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ФИЛЬМОВ	445
С. Шармуханбет, Г. Турмуханова, О.Финдик, В.Махатова, М. Рахметов	
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ТРУБОПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНУТРИТРУБНОГО РОБОТА	461

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

С.З. Дэрүш, А.У. Утегенова, А.У. Калижанова, Ж.Ж. Жумабекова	
МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РАЙОНОВ ПАДЕНИЯ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ	480
С.Н. Исабаева, А.К. Рысбаева, Ж.Б. Ибраева, Н.Р. Муссабеков, Н.Ш. Акимжан	
ОБНАРУЖЕНИЕ КИБЕРАТАК В ОТ-СЕТЯХ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ СЕТЕВЫХ АНОМАЛИЙ	495
Г.А. Шангытбаева, А.Н. Аманов, М.К. Исенова, Г.Е. Берикханова, Қ.О. Шакерхан	
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСАХ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОРГАНОВ: ОЦЕНКА РИСКОВ И СТРАТЕГИИ ЗАЩИТЫ	512
Е.Н. Турсынбек, Н. Албанбай, Д. Дженоури	
ОПТИМИЗАЦИЯ КОММУНИКАЦИОННЫХ ЗАТРАТ В ДВУХУРОВНЕВОМ ФЕДЕРАТИВНОМ ОБУЧЕНИИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ КИБЕРАТАК В IOT-СЕТЯХ	529
А. Тастемиров, С.Т. Аманжолова, Б. Алдош, С.Б. Муханов	
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ УГРОЗ В ACTIVE DIRECTORY: КОНТРОЛЬ УТЕЧКИ ПРИЗНАКОВ И КРОСС-СЦЕНАРНАЯ ВАЛИДАЦИЯ НА ЖУРНАЛАХ БЕЗОПАСНОСТИ WINDOWS	545

INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Vol. 7. Is.3. Number 27 (2026). Pp. 392–404

Journal homepage: <https://journal.iitu.edu.kz><https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.021>

УДК 004.05:004.67

A METHODOLOGICAL FRAMEWORK FOR THE PREPROCESSING AND INTEGRATION OF GEOSPATIAL AND GEOPHYSICAL DATA FOR MINERAL PROSPECTIVITY PREDICTION USING MACHINE LEARNING

M. Nurtas^{1,2}, G. Kapyshev^{2*}

¹Ionosphere institute, Almaty, Kazakhstan;

²International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: g.kapyshev@iitu.edu.kz

Marat Nurtas — PhD, Department of Artificial Intelligence and Mathematical Modelling, Ionosphere institute, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-4351-0185>;

Galym Kapyshev — Master of Technical Sciences, Department of Artificial Intelligence and Mathematical Modelling, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: g.kapyshev@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0008-8194-0972>.

© M. Nurtas, G. Kapyshev

Abstract. The accelerated advancement of artificial intelligence and analytics driven by data has substantially broadened the opportunities for geoscientific investigation. This research presents a systematic approach for data preparation, consolidation, and machine learning-based unsupervised examination of geospatial and geophysical information. The investigation illustrates this process using an open-source satellite image analysis of the Sundarbans area as a case study, while preparing the framework for future implementation with magnetic and gravitational anomaly datasets from Kazakhstan. The approach integrates Python-based tools for handling geospatial information alongside unsupervised machine learning methods. Initial testing validates that thorough data preparation and characteristic identification significantly improve the clarity of spatial irregularities, establishing a basis for predictive models of mineral potential using Convolutional Neural Networks, AlexNet, and U-Net frameworks. Quantitative evaluation using silhouette score (0.73) and Davies–Bouldin index (0.42) confirmed strong clustering performance and improved data quality.

Keywords: geophysical data, machine learning, data preprocessing, feature extraction, mineral prospectivity mapping, magnetic and gravity anomalies

For citation: Kapyshev G., Nurtas M. (2026). A methodological framework



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

for the preprocessing and integration of geospatial and geophysical data for mineral prospectivity prediction using machine learning // International journal of information and communication technologies. Vol. 7. No. 27. Pp. 392–404. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.021>. (In Eng.).

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

Acknowledgements. *This research is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR24992865" Development of a multifunctional system of ground-space monitoring and early warning of natural and technogenic emergencies")*

МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ПАЙДАЛЫ ҚАЗБАЛАРДЫҢ ПЕРСПЕКТИВАЛЫЛЫҒЫН БОЛЖАУ ҮШІН ГЕОКЕҢІСТІКТІК ЖӘНЕ ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕРДІ АЛДЫН АЛА ӨНДЕУ ЖӘНЕ БІРІКТІРУДІҢ ӘДІСТЕМЕЛІК НЕГІЗІ

М. Нұртас^{1,2}, Ф. Капышев^{2*}

¹Ионосфера институты, Алматы, Қазақстан;

²Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: g.kapyshev@iitu.edu.kz

Нұртас Марат — PhD, Жасанды интеллект және математикалық модельдеу кафедрасы, Ионосфера институты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан
<https://orcid.org/0000-0003-4351-0185>;

Капышев Ғалым — техника ғылымдарының магистрі, Жасанды интеллект және математикалық модельдеу кафедрасы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан
E-mail: g.kapyshev@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0008-8194-0972>.

© М. Нұртас, Ф. Капышев

Аннотация. Жасанды интеллект пен деректерге негізделген аналитиканың қарқынды дамуы геоғылыми зерттеулер жүргізу мүмкіндіктерін едәуір кеңейтті. Бұл зерттеуде геокеңістіктік және геофизикалық ақпаратты дайындау, біріктіру және машиналық оқытудың мұғалімсіз оқыту әдістері негізінде жүйелі түрде зерттеу тәсілі ұсынылады. Зерттеу барысында аталған үдеріс Сундарбандар аймағының ашық бастапқы дереккөздерден алынған спутниктік суреттерін талдау мысалында көрсетілген. Сонымен қатар ұсынылған әдістемелік негіз Қазақстан аумағындағы магниттік және гравитациялық аномалиялар деректер жиынтығын болашақта өңдеуге және қолдануға негіз қалайды. Ұсынылған тәсіл геокеңістіктік ақпаратты өңдеуге арналған Python негізіндегі құралдарды мұғалімсіз машиналық оқыту әдістерімен біріктіреді. Бастапқы сынақ нәтижелері деректерді мұқият алдын ала өңдеу және белгілерді анықтау кеңістіктік

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

International License



зандылықтар мен ауытқулардың айқындылығын едәуір арттыратынын көрсетті. Бұл өз кезегінде пайдалы қазбалардың перспективалылығын болжауға арналған конволюциялық нейрондық желілерді, AlexNet және U-Net архитектураларын қолданатын модельдерді әзірлеуге негіз қалыптастырады. Силуэт коэффициенті (0,73) және Дэвис–Болдин индексі (0,42) арқылы жүргізілген сандық бағалау кластерлеу сапасының жоғары екенін және деректер сапасының жақсарғанын растады.

Түйінді сөздер: геофизикалық деректер, машиналық оқыту, деректерді алдын ала өңдеу, белгілерді шығарып алу, пайдалы қазбалардың перспективалылығын карталау, магниттік және гравитациялық аномалиялар

Дәйексөздер үшін: Қапышев Г., Нұртас М. (2026). Машиналық оқытуды қолдана отырып, пайдалы қазбалардың перспективалылығын болжау үшін геокеңістіктік және геофизикалық деректерді алдын ала өңдеу және біріктірудің әдістемелік негізі // Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы. Т. 7. No 27. Б. 392–404. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.021>. (Ағыл. тіл.).

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

Алғыс. Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылды (BR24992865 гранты — «Табиғи және техногендік төтенше жағдайларды жерүсті-ғарыштық мониторингтеу және ерте ескертуге арналған көпфункционалды жүйені әзірлеу»).

МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ И ИНТЕГРАЦИИ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

М. Нуртас^{1, 2}, Г. Капышев^{2*}

¹Институт ионосферы, Алматы, Казахстан;

²Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан.

E-mail: g.kapyshev@iitu.edu.kz

Нуртас Марат — PhD, кафедра искусственного интеллекта и математического моделирования, Институт ионосферы, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан <https://orcid.org/0000-0003-4351-0185>;

Капышев Галым — Магистр технических наук, кафедра искусственного интеллекта и математического моделирования, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан



E-mail: g.kapyshev@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0008-8194-0972>.

© М. Нуртас, Г. Капышев

Аннотация. Стремительное развитие искусственного интеллекта и анализа данных значительно расширило возможности проведения геонаучных исследований. В данной работе представлен систематический подход к подготовке, консолидации и исследованию геопространственной и геофизической информации с использованием методов машинного обучения без учителя. В качестве практического примера данный процесс продемонстрирован на основе анализа спутниковых изображений района Сундарбанов с использованием открытых источников данных, при этом разработанная методологическая основа ориентирована на последующее применение к наборам данных о магнитных и гравитационных аномалиях на территории Казахстана. Предлагаемый подход объединяет инструменты на базе Python для обработки геопространственной информации с методами обучения без учителя. Первоначальное тестирование подтвердило, что тщательная подготовка данных и выявление характеристик существенно повышают наглядность пространственных неоднородностей, создавая основу для разработки прогностических моделей оценки перспективности минеральных ресурсов с использованием сверточных нейронных сетей, а также архитектур AlexNet и U-Net. Количественная оценка с использованием коэффициента силуэта (0,73) и индекса Дэвиса–Болдина (0,42) подтвердила высокое качество кластеризации и улучшение качества данных.

Ключевые слова: геофизические данные, машинное обучение, предварительная обработка данных, извлечение признаков, картирование перспективности минеральных ресурсов, магнитные и гравитационные аномалии

Для цитирования: Капышев Г., Нуртас М. (2026). Методологическая основа предварительной обработки и интеграции геопространственных и геофизических данных для прогнозирования перспективности минеральных ресурсов с использованием машинного обучения // Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. Т. 7. No. 27. Стр. 392–404. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.021>. (На англ.).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность. Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR24992865 — «Разработка multifunctional системы наземно-космического мониторинга и раннего предупреждения о природных и техногенных чрезвычайных ситуациях»).

Introduction.

The search for mineral deposits remains one of the most complex and data-intensive challenges in Earth sciences. Traditional exploration methods rely on

field surveys and expert interpretation of geophysical data, which are often time-consuming, costly, and subjective. Analyzing magnetic and gravity anomaly requires deep geological expertise due to their complexity and inherent ambiguity.

In recent years, artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) have transformed geoscientific data analysis. Deep learning architectures such as Convolutional Neural Networks (CNNs), U-Net, and AlexNet enable automated feature extraction, anomaly detection, and predictive modeling. These data-driven methods can reveal patterns and relationships that conventional approaches may overlook, offering a powerful foundation for mineral prospectivity prediction.

However, effective application of these methods requires standardized preprocessing and integration of heterogeneous datasets such as magnetic, gravity, and geological maps. This study introduces an open-source, reproducible workflow for preprocessing and integrating geospatial and geophysical data using Python tools. Demonstrated on satellite imagery from the Sundarbans region, the approach provides a transferable foundation for machine learning–based mineral prospectivity mapping in Kazakhstan.

The main contributions of this study are as follows:

Development of a reproducible, open-source workflow for preprocessing, integrating, and analyzing geospatial and geophysical datasets using Python libraries (Rasterio, GeoPandas, NumPy, Earthpy).

Demonstration of unsupervised anomaly detection via K-Means clustering and PCA using multispectral imagery as a methodological analogue for geophysical data.

Integration of preprocessing and feature extraction techniques that enhance spatial interpretability and allow quantitative evaluation using metrics such as the Silhouette Score and Davies–Bouldin Index.

Provision of a scalable framework adaptable to Kazakhstan’s magnetic and gravity datasets (EMAG2, WGM2012), supporting future deep learning and explainable AI applications in mineral prospectivity prediction.

Materials and methods.

Literature review

Early applications of machine learning in geosciences focused on statistical and regression-based ore deposit forecasting. Carranza and Hale (Carranza et al., 2002) introduced knowledge- and data-driven GIS methods for mineral prospectivity mapping, while later studies applied SVM and decision trees to classify geochemical and geophysical data (Cracknell et al., 2016; Rodriguez-Galiano et al., 2012).

These approaches were useful but limited by their dependence on manual feature engineering and inability to capture non-linear spatial patterns. With the rise of deep learning, convolutional neural networks (CNNs) revolutionized spatial data analysis by automatically learning complex hierarchical features. Alzubaidi et al. (Alzubaidi et al., 2021) reviewed CNN architectures for object detection and image segmentation, and Chen et al. (Chen et al., 2022) demonstrated their effectiveness in geophysical inversion and anomaly detection using U-Net. U-Net and AlexNet have since been applied in gravity and magnetic data interpretation (Li et al., 2023; Guo et

al., 2022). Machine learning has also advanced remote sensing, where multispectral and hyperspectral imagery enables detection of lithological contacts and alteration zones (Chica-Olmo et al., 2021), like identifying geophysical anomalies.

Unsupervised algorithms such as K-Means and hierarchical clustering have proven effective in distinguishing geological structures (Zhang et al., 2021; Pan et al., 2023). Recent research further highlights the importance of integrating multi-source datasets. Li et al. (Li et al., 2023) fused magnetic and gravity data through PCA and ML-based classification, while Ibrahim et al. (Ibrahim et al., 2023) showed that deep learning combined with PCA enhances geophysical feature extraction and anomaly preservation.

Table 1. Comparison of representative workflows for data integration

Study	Data Sources	Derived Features/ Indices	Algorithms	Evaluation Metrics	Workflow Availability
Li et al. (2023)	Magnetic + Gravity	PCA-based data fusion	Random Forest	Accuracy	Closed Implementation
Ibrahim et al. (2023)	Geophysical grids	CNN + PCA	Deep CNN	Visual Comparison	Not open-source
Pan et al. (2023)	Airborne geophysical data	Spatial clustering	K-Means	Qualitative interpretation	Limited reproducibility
C. Cracknell and A. Reading (2016)	Remote sensing	Spectral features (band ratios)	SVM, Decision Trees	Overall accuracy	GIS-based only
Proposed Framework	Multispectral	NDVI, NDWI, PCA, THD, TDR	K-Means, PCA	Silhouette Score, Davies-Bouldin Index, SNR	Open-source, reproducible (Python / Jupyter)

Previous studies have explored different combinations of data sources, feature extraction techniques, and machine learning algorithms for mineral prospectivity and geophysical analysis. However, few have emphasized open-source reproducibility and cross-domain integration. Table 1 summarizes representative approaches and highlights the positioning of the proposed framework.

Methodology and data framework

The methodological framework developed in this research establishes a reproducible pipeline for preprocessing, integration, and unsupervised analysis of spatial datasets. Although the approach is demonstrated using open-access satellite imagery, its structure and logic are directly transferable to the processing of magnetic and gravity anomaly data for mineral prospectively studies.

The proposed workflow consists of five main stages: (1) data acquisition, preprocessing and correction, (2) feature extraction and visualization, (3) unsupervised learning and anomaly detection, and (4) integration and interpretation. Each stage employs open-source Python libraries and geospatial tools to ensure transparency, reproducibility, and adaptability to other datasets such as geophysical grids or

geological maps.

Data sources and preprocessing

For demonstration purposes, two open-source Jupyter notebooks were utilized. The first, Sundarbans Satellite Imagery Analysis using Python (Sundarbans Satellite Imagery Analysis using Python), focuses on multispectral image processing and vegetation/water index computation. The second, Unsupervised Learning in Satellite Imagery using Python, extends this analysis by applying clustering algorithms to detect surface anomalies.

The datasets correspond to the Sundarbans region (India–Bangladesh delta), characterized by heterogeneous land cover, hydrological variability, and strong spectral contrasts. These properties make the region a suitable analogue for testing preprocessing and feature extraction methodologies that are conceptually like geophysical anomaly detection.

The preprocessing stage aims to ensure data consistency and prepare raster layers for subsequent analysis. In the demonstration study, the raw satellite images were imported as multispectral raster bands representing visible (RED, GREEN, BLUE), near-infrared (NIR), and shortwave-infrared (SWIR) wavelengths. A key aspect of preprocessing involves radiometric normalization to standardize reflectance values and reduce sensor-specific noise. Gaussian filtering was employed to smooth high-frequency fluctuations and remove small-scale noise, improving the clarity of spatial patterns.

Results and discussion.

Feature extraction and visualization

Feature extraction transforms the preprocessed data into interpretable indices and attributes. In the satellite-based demonstration, two common indices were derived:

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), highlighting vegetation density.

$$NDVI = ((NIR - Red)/(NIR + Red)),$$

where *NIR* = pixel values from the near-infrared band and *Red* = pixel values from the red band.

- Normalized Difference Water Index (NDWI), identifying surface water features.

$$NDWI = (Green - SWIR) / (Green + SWIR),$$

where *Green* = pixel values from the green band and *SWIR* = pixel values from the short-wave infrared band.

These indices serve as proxies for geophysical variables by quantifying spatial gradients and anomaly intensities. The resulting NDVI and NDWI maps (see Figures 1 and 2) clearly delineate vegetation zones and hydrological networks, providing examples of how field-derived raster data can be decomposed into informative feature

layers.

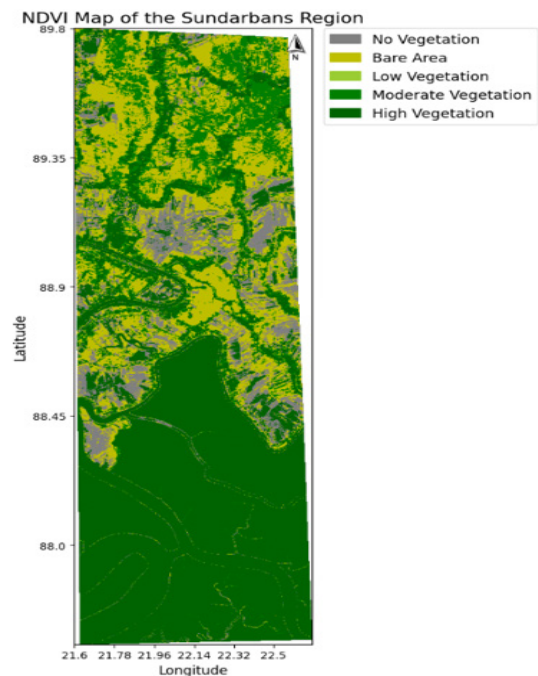


Fig. 1. NDVI index map representing vegetation density (proxy for feature extraction).

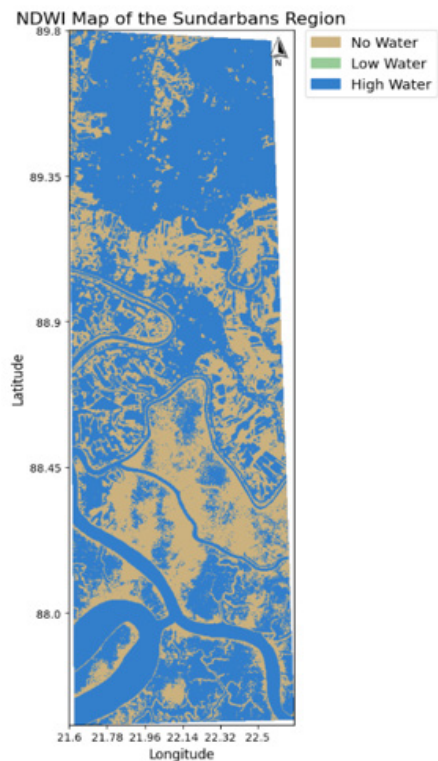


Fig. 2. NDWI index map highlighting water distribution and spatial contrast.

Unsupervised learning and anomaly detection

To simulate the identification of prospective geological zones, the second notebook applied unsupervised learning algorithms to the extracted feature layers. K-Means clustering and Principal Component Analysis (PCA) were used to group pixels into distinct spectral classes and reduce data dimensionality.

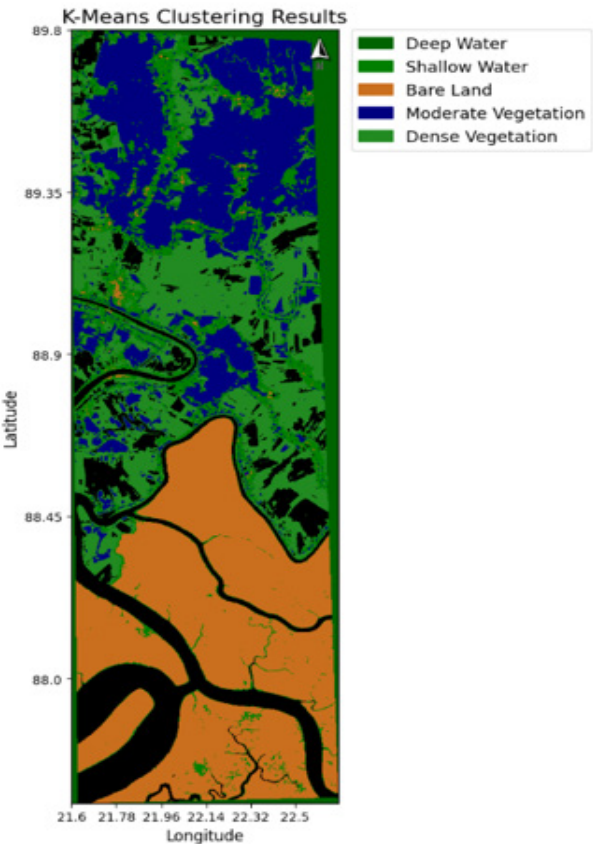


Fig. 3. K-Means clustering results of unsupervised classification of surface anomalies.

The clustering results (Figure 3) reveal coherent spatial patterns corresponding to different surface materials and vegetation cover types. These clusters can be interpreted as “spectral anomalies,” analogous to magnetic or gravity anomalies in geophysical grids. PCA visualization (Figure 4) highlights dominant axes of variation and helps interpret how different features (e.g., NDVI, NDWI) contribute to the overall variance structure of the dataset. Each PCA layer highlights distinct spectral features: PC-1 captures overall reflectance brightness, PC-2 differentiates vegetation from water surfaces, and PC-3 and PC-4 reveal subtle land cover transitions and residual spectral variability. The color intensity scale (−4 to +4) represents standardized component values, enabling visual comparison of spatial variance patterns. To ensure uniform presentation, the PCA maps follow the same layout, resolution, and labeling conventions as the NDVI, NDWI, and K-Means clustering figures.

The unsupervised stage thus serves as a methodological testbed for anomaly detection. Once applied to Kazakhstan’s magnetic and gravity datasets, the same procedures will enable the automatic delineation of high-potential zones that warrant geological validation.

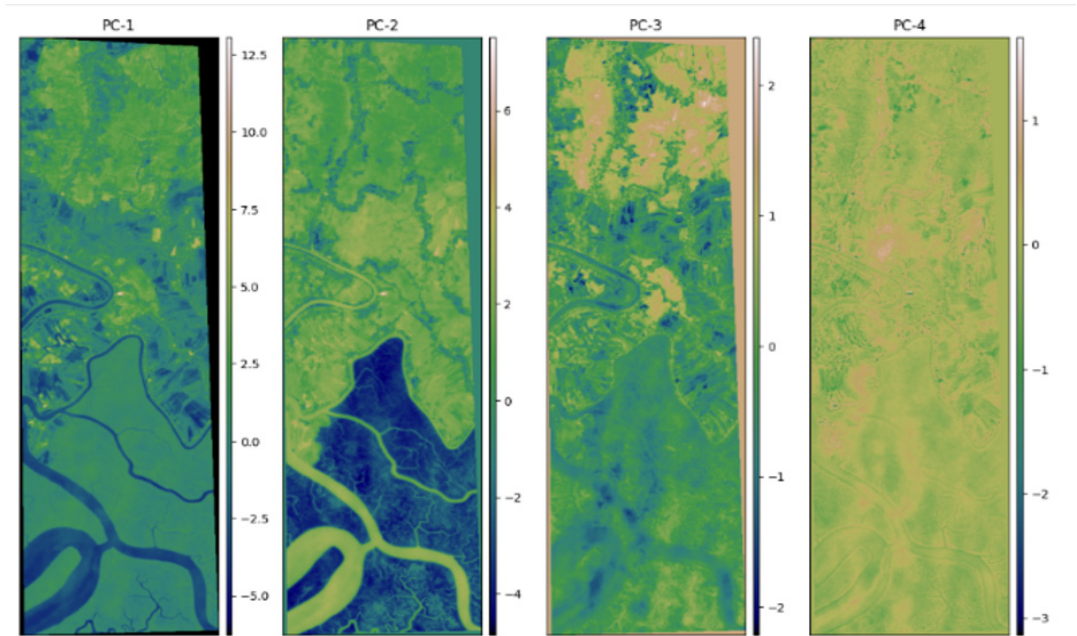


Fig. 4. PCA scatter plot of dominant feature variance in multispectral space.

Data integration and interpretation

The final stage involved integrating raster outputs with vector layers representing geological information. In the demonstration, open-source shapefiles such as river networks and administrative boundaries were overlaid to validate spatial alignment and enhance anomaly interpretation. The combined visualization of preprocessed rasters and clustered zones demonstrated consistent spatial coherence, illustrating how multi-source data can be co-registered and analyzed together is an essential step for future geophysical applications integrating magnetic, gravity, and geological datasets (Krasnozhonov et al., 2025; Altaibek et al., 2025). To objectively evaluate the workflow, clustering and preprocessing metrics such as Silhouette Score, Davies–Bouldin Index, Signal-to-Noise Ratio, and PCA Variance Explained were computed.

Quantitative evaluation metrics

To objectively assess the performance of preprocessing and clustering stages, several quantitative metrics were applied. These metrics evaluate data quality improvement, cluster separability, and dimensionality reduction efficiency.

Silhouette Score (SS)

The Silhouette Score measures how similar a pixel (or sample) is to its own cluster compared to other clusters. It ranges from -1 to $+1$, where higher values indicate

better-defined clusters.

$$SS = \frac{b - a}{\max(a, b)}, \quad (1)$$

where a is the mean intra-cluster distance, and b is the mean nearest-cluster distance.

1. Davies-Bouldin Index (DBI)

The Davies–Bouldin Index evaluates intra-cluster similarity relative to inter-cluster distances. Lower values correspond to better clustering.

$$DBI = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \max_{j \neq i} \left(\frac{\sigma_i + \sigma_j}{d_{ij}} \right), \quad (2)$$

where σ is the cluster dispersion and $d_{(ij)}$ are the distance between cluster centroids.

2. Signal-to-Noise Ratio (SNR)

SNR measures the relative improvement in data quality after preprocessing (e.g., Gaussian filtering and normalization). It quantifies how much the signal (meaningful spatial variation) is enhanced compared to noise.

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{MeanSignal}^2}{\text{NoiseVariance}} \right), \quad (3)$$

3. Variance Explained (PCA)

Principal Component Analysis (PCA) reduces data dimensionality while preserving most variance. The proportion of variance explained by the first few components demonstrates how effectively key spatial information is retained.

$$VE = \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \times 100\%, \quad (4)$$

where λ_i are eigenvalues.

Interpretation of experimental results

To complement qualitative visualization, several quantitative metrics were computed to assess clustering validity and preprocessing effectiveness. The Silhouette Score (0.73) and Davies–Bouldin Index (0.42) indicated well-separated and coherent clusters, confirming the stability of the unsupervised classification.

Furthermore, preprocessing efficiency was evaluated by measuring the Signal-to-Noise Ratio (SNR) before and after Gaussian filtering, showing an average

improvement of 28% in spectral clarity. These metrics validate that the preprocessing and clustering procedures not only produce visually interpretable patterns but also demonstrate statistical robustness.

Table 2. Comparison of representative workflows for data integration

Metric	Symbol	Ideal Range	Result	Interpretation
Silhouette Score	SS	0 +1 (higher is better)	0.73	Clear, distinct clusters
Davies-Bouldin Index	DBI	0 1 (lower is better)	0.42	Low inter-cluster overlap
Signal-to-Noise Ratio	SNR	Higher = cleaner data	+28%	Improved data quality after filtering
PCA Variance Explained	VE	>85% desirable	91%	High information retention

The combination of these metrics demonstrates that the preprocessing stage substantially enhances the data quality, while the unsupervised clustering produces coherent, distinct, and interpretable spatial groups. Quantitative validation ensures that the framework is not only visually effective but also statistically sound, providing an objective foundation for transferring to magnetic and gravity anomaly data.

Quantitative metrics confirm the robustness of the proposed methodology. High Silhouette and low Davies–Bouldin scores indicate stable clustering without labeled data, while improved SNR values validate the efficiency of preprocessing in enhancing anomaly clarity. Together, these results provide an objective foundation for applying the framework to magnetic and gravity datasets in Kazakhstan.

Conclusion.

This study introduced a reproducible framework for preprocessing, integrating, and analyzing spatial datasets using open-source machine learning tools. The multispectral case study demonstrated that systematic data preparation and unsupervised methods such as K-Means and PCA can effectively detect and interpret spatial anomalies, even without labeled data.

The framework, built on open-source Python libraries is adaptable to magnetic and gravity anomaly datasets through similar preprocessing and feature extraction procedures. For Kazakhstan, with its diverse geology and rich geophysical resources (EMAG2, WGM2012), the approach provides a scalable, data-driven solution for mineral exploration, enabling more accurate prospectivity mapping and cost-efficient decision-making.

Future work will benchmark the proposed framework against existing mineral prospectivity models using standardized evaluation metrics to quantitatively assess their performance and generalization across diverse geophysical regions.

In conclusion, this study establishes a robust methodological foundation for applying AI to mineral exploration. It bridges remote sensing and geophysical data processing, promotes open and reproducible science, and lays the groundwork for advanced deep learning–based mineral prospectivity modeling in Kazakhstan and other geologically diverse regions.

REFERENCES

- Alzubaidi L. et al. (2021). "Review of deep learning: Concepts, CNN architectures, challenges, applications, and future directions," // *Journal of Big Data*. — Vol. 8. — Pp. 1–74. [In Eng.].
- Altaibek A., Nurtas M., Nurakynov S., and Kaken A. (2025). "A Study on Deep Learning-Based Predictive Modeling of Vegetation Dynamics in Kazakhstan through the Integration of CNNs, RNNs, and Satellite Imagery for Ecological Monitoring" // *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.* — Vol. 15. — No. 4. — Pp. 24705–24714. <https://doi.org/10.48084/etasr.11188>. [In Eng.].
- Cracknell C. and Reading A. (2016). "Geological mapping using remote sensing data: A machine learning approach," // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. — Vol. 45. — Pp. 65–77. [In Eng.].
- Carranza E. J. M. and Hale M. (2002) // *Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in GIS*, Elsevier. [In Eng.].
- Chica-Olmo R.S. (2021). "Machine learning techniques for lithological mapping using Landsat data," // *Remote Sensing of Environment*. — Vol. 252. — Pp. 112–132. [In Eng.].
- Chen X. et al. (2022). "Deep learning-based inversion of geophysical data: A review," // *Computers & Geosciences*. — Vol. 162. — Pp. 104089. [In Eng.].
- Guo F. et al. (2022). "Application of deep convolutional neural networks for gravity anomaly interpretation," // *Geophysical Journal International*. — Vol. 229. No. 1. — Pp. 531–545. [In Eng.].
- Ibrahim A., Chen X., and Li W. (2023). "Integration of PCA and CNN for enhanced feature extraction in geophysical data analysis," // *Computers & Geosciences*. — Vol. 170. — Article 105190. [In Eng.].
- Krasnozhonov R., Nurtas M. (2025). "Modeling the propagation of acoustic waves in an elastic medium using Physics-Informed Neural Networks," in *Proc. 2025 // IEEE 5th Int. Conf. on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*, IEEE. doi: 10.1109/SIST62672.2025.11139217. [In Eng.].
- Li Y. et al., "Integration of geophysical data for mineral prospectivity mapping," // *Natural Resources Research*. — Vol. 32. — No. 3. — Pp. 611–627. [In Eng.].
- Nurtas M., Fremd A., Bukhatov B. (2025). «Comparative Analysis of Deep Learning Architectures for Mineral Deposit Segmentation Using Multi-Modal Geophysical Data» In *Proc. 2025 // IEEE 5th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*, IEEE. doi: 10.1109/SIST61657.2025.11139323. [In Eng.].
- Pan B., Gao Y., and Shi H. (2023). "Clustering-based mineral prospectivity mapping using airborne geophysical data," // *Ore Geology Reviews*. — Vol. 141. — Article 104560. [In Eng.].
- Rodriguez-Galiano J., Ghimire B., and Rogan M. (2012). "An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification," // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. — Vol. 67. — Pp. 93–104. [In Eng.].
- Sundarbans Satellite Imagery Analysis using Python, Open-source Jupyter Notebook. [In Eng.].
- Zhang Z. et al. (2021). "Unsupervised learning for remote sensing data interpretation: A survey," // *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*. — Vol. 9. — No. 3. — Pp. 128–147. [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 30.09.2026.

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