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

ХАЛЫҚАРАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

INTERNATIONAL UNIVERSITY SINCE 2009

МЕЖДУНАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

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 Rysbaiuly — 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)
Bakhtgerei 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)

Лучио 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)

Рысбайулы Болатбек — физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Есептеу және деректер ғылымдары департаментінің профессоры, Astana IT University (Казахстан)

Дайнеко Евгения Александровна — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)

Дузбаев Нуржан Токкужаевич — 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 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 бизнеса 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)

Дамеля Максутовна Ескендирова — 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)

Айтмагамбетов 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)

Тадеуш 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 сәулет университеті жобаларды басқару кафедрасының меңгерушісі (Украина)

Белощицкая 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 Максутовна Ескендирова — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Ниязгулова Айгуль Аскарбековна — кандидат филологических наук, доцент, профессор, заведующая кафедрой медиакоммуникаций 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 Сахибай – кандидат технических наук, профессор, профессор-исследователь кафедры компьютерной инженерии, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Алмисреб 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)

Белощицкая 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. Doumchariyev, 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. Zhanekeshova, 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. Shangytbayeva, 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

МАЗМҰНЫ
ӘЛЕУМЕТТІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ДАМЫТУДАҒЫ 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, A.Suliman
YOLO-CBAM: 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
БҰЛТТЫ МЕДИЦИНАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДЕ ЕКІ ФАКТОРЛЫ АУТЕНТИФИКАЦИЯНЫ ЖАҚСАРТУ: 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. Әйтім
ҚАЗАҚ МӘТІНДІК КОРПУСТАРЫН АВТОМАТТЫ ЖӘНЕ ЖАРТЫЛАЙ АВТОМАТТЫ АННОТАЦИЯЛАУ 180
Ж.Е. Балабаев, С.В. Белощицкая
ШАҒАТАЙ ҚОЛЖАЗБАЛАРЫНЫҢ МӘТІНІН ТАНУ: CRNN-ДІ НӨЛДЕН БАСТАП ОҚЫТУ МЕН ТРАНСФОРМЕР НЕГІЗІНДЕГІ ТРАНСФЕРЛІК ОҚЫТУДЫ САЛЫСТЫРУ 198
Д.Б. Баумуратова, Т.К. Жукабаева, К.А. Абдрахманов, З. Ахмад, А.А. Сеитов
ЖОҒАРЫ БІЛІМ БЕРУДЕ AI НЕГІЗДЕЛГЕН ЦИФРЛЫҚ ТРАНСФОРМАЦИЯҒА АРНАЛҒАН НЕЙРО-ЦИФРЛЫҚ ОҚЫТУ МОДЕЛІ 219
Т. Даоюн, Г. Амирханова, Фу Яньвэй, Е. Фарузқызы
ФЕЙК ВИДЕОЛАРДАҒЫ МУЛЬТИМОДАЛЬДЫ СЕМАНТИКАЛЫҚ МАНИПУЛЯЦИЯНЫҢ ПАЙДАЛАНУШЫЛАРДЫҢ ҚАБЫЛДАЙТЫН СЕНІМІНЕ ӘСЕР ЕТУ МЕХАНИЗМІ 241
Ж. Доумчариева, Д. Тусупов, А. Акынбекова, М. Хасанова, М. Кассим
ЦИФРЛЫҚ ЕГІЗДЕГІ СҮТ САПАСЫН АНСАМБЛЬДІК ЖӘНЕ ГИБРИДТІ ОҚЫТУ АРҚЫЛЫ ЖІКТЕУ 258
Қ.З. Игибаев, А.Х. Козбакова, О. Әуелбеков, Т. Мерембаев, Қ. Есентаев
БИОРЕАКТОРДА IoT ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП ДИНАМИКАЛЫҚ АРАЛАСТЫРУ ҚҰРЫЛҒЫСЫН ЗЕРТТЕУ 279
А.Н. Исмуканова, Г.Кощанова, 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

IOT-ЖЕЛІЛЕРІНДЕГІ БАСЫП КІРУДІ АНЫҚТАУЖҮЙЕЛЕРІНДЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫҢ АНСАМБЛЬДІ КҮЛГІЛЕРІНІҢ БӘСЕКЕЛЕС ШАБУЫЛДАРҒА ТӨЗІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ 369
М. Нұртас, Ғ. Капышев
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ПАЙДАЛЫ ҚАЗБАЛАРДЫҢ ПЕРСПЕКТИВАЛЫЛЫҒЫН БОЛЖАУ ҮШІН ГЕОКЕҢІСТІКТІК ЖӘНЕ ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕРДІ АЛДЫН АЛА ӨҢДЕУ 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
ҚҰБЫРІШІЛІК РОБОТТЫ ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ ҚҰБЫР АҚАУЛАРЫН АНЫҚТАУДЫҢ ЗИЯТКЕРЛІК 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
IOT 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 МОДЕЛЬДЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ БАҒАЛАУ: WINDOWS ҚАУІПСІЗДІК ОҚИҒАЛАРЫ ЖУРНАЛДАРЫНДА БЕЛГІ ЖЫЛЫСТАУЫН БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ КРОСС-СЦЕНАРЛЫҚ ВАЛИДАЦИЯ 545

СОДЕРЖАНИЕ
ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗВИТИИСОЦИО-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, A.Suliman
YOLO-CBAM: 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. Әйтім
АВТОМАТИЧЕСКАЯ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ АННОТАЦИЯ КАЗАХСКИХ ТЕКСТОВЫХ КОРПУСОВ 180
Ж.Е. Балабаев, С.В. Белощицкая
РАСПОЗНАВАНИЕ РУКОПИСНОГО ТЕКСТА ШАГАТАЙСКИХ РУКОПИСЕЙ: СРАВНЕНИЕ ОБУЧЕНИЯ CRNN 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. Даоюн, Г. Амирханова, Фу Яньвэй, Е. Фарузкызы
МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ СЕМАНТИЧЕСКОЙ МАНИПУЛЯЦИИ В ФЕЙКОВЫХ ВИДЕО НА ВОСПРИНИМАЕМОЕ ДОВЕРИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ 241
Ж. Доумчариева, 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.Кощанова, 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. Сарқыт, М.Ж. Конырова
ТРЁХФАЗОВОЕ ОБУЧЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА ГИБРИДНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С КЛИМАТО-ОСВЕДОМЛЁННЫМ ПРЕДСТАВЛЕНИЕМ СОСТОЯНИЯ 357
Н.Е. Қарабаев, 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. Дәруіш, 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

INFORMATION SECURITY AND COMMUNICATIONTECHNOLOGIES
АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРҒА АРНАЛҒАН
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES
ISSN 2708–2032 (print)
ISSN 2708–2040 (online)
Vol. 7. Is.3. Number 27 (2026). Pp. 480–494
Journal homepage: https://journal.iitu.edu.kz
https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.026
МРНТИ 28.23.15

MACHINE LEARNING FOR POLLUTION CLASSIFICATION IN ROCKET BOOSTER IMPACT AREAS

S.Z. Daruish[1]*, A.U. Utegenova[2], A.U. Kalizhanova[3], Zh.Zh. Zhumabekova[4]
[1]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;
[2]Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev, Almaty, Kazakhstan;
[3]Institute of Information and Computing Technologies, Almaty, Kazakhstan;
[4]Branch of the Republican State Enterprise «Infracos», Almaty, Kazakhstan.
E-mail: daruish_serik@live.kaznu.kz

Serik Z. Daruish — Doctoral student of the Faculty of Information Systems, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
E-mail: daruish_serik@live.kaznu.kz, https://orcid.org/0009-0006-1878-4212;
Anar U. Utegenova — PhD, Associate Professor, Head of the Software Engineering Department, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev, Almaty, Kazakhstan
https://orcid.org/0000-0002-3875-5164;
Aliya U. Kalizhanova — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Institute of Information and Computing Technologies, Almaty, Kazakhstan
https://orcid.org/0000-0002-5979-9756;
Zhazira Zh. Zhumabekova — PhD, Head of the Scientific and Technical Information Department, Branch of the Republican State Enterprise «Infracos», Almaty, Kazakhstan
https://orcid.org/0000-0003-1854-798X.

© S.Z. Daruish, A.U. Utegenova, A.U. Kalizhanova, Zh.Zh. Zhumabekova

Abstract. Environmental monitoring of rocket booster impact areas requires assessing soil contamination with unsymmetrical dimethylhydrazine (UDMH) and N-nitrosodimethylamine (NDMA), which are costly to determine. We tested whether such contamination can be predicted from indirect indicators: sample position relative

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

to the impact centre, sampling depth, pH, nitrates, nitrites and petroleum hydrocarbons. An open dataset from the Soyuz-FG launch vehicle crash site in Kazakhstan was used: 53 soil samples with measured UDMH and NDMA, 63 records for 2018 and 2019. UDMH and NDMA were excluded from the features. Logistic regression, k-nearest neighbours, random forest and gradient boosting were compared with a distance rule under repeated, spatial and temporal cross-validation. Logistic regression and random forest reached ROC-AUC 0.75–0.76 versus 0.59 for the distance rule, and 0.85–0.87 on the 2018 samples with fully measured chemistry. Nitrate content and sampling depth were the most informative features. The model can select samples requiring costly analysis in GIS-based monitoring.

Keywords: machine learning, rocket booster impact areas, unsymmetrical dimethylhydrazine, soil contamination classification, spatial cross-validation, geographic information systems

For citation: Daruish S.Z., Utegenova A.U., Kalizhanova A.U., Zhumabekova Zh.Zh. (2026). Machine learning for pollution classification in rocket booster impact areas // International Journal of Information and Communication Technologies. Vol. 7. No. 27. Pp. 480–494. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.026. (In Russ.).

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

Acknowledgements: *This research was carried out with the support of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under Grant No. AP23488291, "Development of a Multifunctional Resource for Environmental Certification of Rocket Carrier Separated-Stage Impact Areas Using Adaptive Representation of Interactive GIS."*

ЗЫМЫРАН ТАСЫМАЛДАУШЫЛАРДЫҢ ҚҰЛАУ АЙМАҚТАРЫНЫҢ ЛАСТАНУЫН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУМЕН ЖІКТЕУ

С.З. Дәруіш[1]*, А.У. Утегенова[2], А.У. Калижанова[3], Ж.Ж. Жумабекова[4]

[1]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;
[2]Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан;
[3]Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан;
[4]«Инфракос» республикалық мемлекеттік кәсіпорнының филиалы, Алматы, Қазақстан.
E-mail: daruish_serik@live.kaznu.kz

Дәруіш Серік Заңғарұлы — «Ақпараттық жүйелер» факультетінің докторанты, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
E-mail: daruish_serik@live.kaznu.kz, https://orcid.org/0009-0006-1878-4212;
Утегенова Анара Урантаевна — PhD, қауымдастырылған профессор, «Бағдарламалық инженерия» кафедрасының меңгерушісі, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

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

https://orcid.org/0000-0002-3875-5164;
Калижанова Алия Уалиевна — физика-математика ғылымдарының кандидаты, профессор, Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан
https://orcid.org/0000-0002-5979-9756;
Жумабекова Жазира Жаксиликовна — PhD, «Инфракос» РМК филиалының ғылыми-техникалық ақпарат бөлімінің бастығы, Алматы, Қазақстан
https://orcid.org/0000-0003-1854-798X.

© С.З. Дәруіш, А.У. Утегенова, А.У. Калижанова, Ж.Ж. Жумабекова

Аннотация. Зымыран тасымалдаушылардың бөлінетін бөліктері құлайтын аудандардың экологиялық мониторингі топырақтың симметриясыз диметилгидразинмен (НДМГ) және N-нитрозодиметиламинмен (NDMA) ластануын бағалауды талап етеді, ал бұл көрсеткіштерді анықтау қымбат әрі еңбекті көп қажет етеді. Жұмыстың мақсаты – мұндай ластануды жанама көрсеткіштер бойынша болжауға болатынын тексеру: сынаманың құлау орталығына қатысты орналасуы, іріктеу тереңдігі, pH, нитраттар, нитриттер мен мұнай өнімдерінің мөлшері. Қазақстандағы «Союз-ФГ» зымыран тасымалдаушысы апат орнын зерттеудің ашық деректер жиынтығы пайдаланылды: НДМГ мен NDMA өлшенген 53 топырақ сынамасы, 2018 және 2019 жылдардағы 63 жазба. НДМГ мен NDMA белгілер қатарынан алынып тасталды. Логистикалық регрессия, k жақын көршілер әдісі, кездейсоқ орман және градиенттік бустинг қашықтық ережесімен қайталанатын, кеңістіктік және уақыттық кросс-валидация арқылы салыстырылды. Логистикалық регрессия мен кездейсоқ орман ROC-AUC 0,75–0,76 көрсетті, қашықтық ережесі – 0,59, ал химиясы толық өлшенген 2018 жылғы сынамаларда – 0,85–0,87. Ең ақпаратты белгілер – нитраттар мөлшері мен іріктеу тереңдігі. Модель мониторингтің геоақпараттық жүйелерінде қымбат талдауды қажет ететін сынамаларды іріктеу үшін қолданылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: машиналық оқыту, зымыран тасымалдаушылардың құлау аудандары, симметриясыз диметилгидразин, топырақ ластануын жіктеу, кеңістіктік кросс-валидация, геоақпараттық жүйелер

Дәйексөздер үшін: Дәруіш С.З., Утегенова А.У., Калижанова А.У., Жумабекова Ж.Ж. (2026). Зымыран тасымалдаушылардың құлау аймақтарының ластануын машиналық оқытумен жіктеу // Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы. Т. 7. No 27. Б. 480–494. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.026. (Орыс. тіл.).

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

Алғыс: *Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің № AP23488291 «Зымыран-тасығыштардың бөлініп қалған бөліктерінің құлау аудандарын интерактивті геоақпараттық жүйелерді (ГАЖ) бейімдеп ұсыну әдісі арқылы экологиялық паспорттау үшін*

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

көпфункционалды ресурсты әзірлеу» гранты аясында жүргізілді.

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РАЙОНОВ ПАДЕНИЯ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

С.З. Дәруіш[1]*, А.У. Утегенова[2], А.У. Калижанова[3], Ж.Ж. Жумабекова[4]
[1]Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
[2]Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан;
[3]Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматы, Казахстан;
[4]Республиканское государственное предприятие «Инфракос», Алматы, Казахстан.
E-mail: daruish_serik@live.kaznu.kz

Дәруіш Серік Заңғарұлы — докторант факультета «Информационные системы», Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
E-mail: daruish_serik@live.kaznu.kz, https://orcid.org/0009-0006-1878-4212;
Утегенова Анара Урантаевна — PhD, ассоциированный профессор, зав. кафедрой программная инженерия, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан
https://orcid.org/0000-0002-3875-5164;
Калижанова Алия Уалиевна — к.ф.-м.н., профессор, Институт информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан
https://orcid.org/000-0002-5979-9756;
Жумабекова Жазира Жаксиликовна — PhD, начальник отдела научно-технической информации, филиал РГП «Инфракос», Алматы, Казахстан
https://orcid.org/0000-0003-1854-798X.

© С.З. Дәруіш, А.У. Утегенова, А.У. Калижанова, Ж.Ж. Жумабекова

Аннотация. Экологический мониторинг районов падения отделяющихся частей ракет-носителей требует оценки загрязнения почв несимметричным диметилгидразином (НДМГ) и N-нитрозодиметиламином (NDMA), определение которых трудоёмко и дорого. Цель работы состояла в проверке того, можно ли предсказать факт такого загрязнения по косвенным показателям: положению пробы относительно центра падения, глубине отбора, pH, содержанию нитратов, нитритов и нефтепродуктов. Использован открытый датасет обследования места аварии ракеты-носителя «Союз-ФГ» в Казахстане: 53 пробы почвы с измеренными НДМГ и NDMA, 63 записи за 2018 и 2019 гг. Сами НДМГ и NDMA из признаков исключены. Логистическая регрессия, метод k ближайших соседей, случайный лес и градиентный бустинг сравнены с правилом по расстоянию при

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

повторной, пространственной и временной кросс-валидации. Логистическая регрессия и случайный лес достигли ROC-AUC 0,75–0,76 против 0,59 у правила по расстоянию, а на пробах 2018 г. с полностью измеренной химией 0,85–0,87. Наиболее информативны содержание нитратов и глубина отбора. Модель применима для отбора проб, требующих дорогостоящего анализа, в геоинформационных системах мониторинга.

Ключевые слова: машинное обучение, районы падения ракет-носителей, несимметричный диметилгидразин, классификация загрязнения почв, пространственная кросс-валидация, геоинформационные системы

Для цитирования: Дәруіш С.З., Утегенова А.У., Калижанова А.У., Жумабекова Ж.Ж. (2026). Машинное обучение для классификации загрязнения районов падения ракет-носителей // Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. Т. 7. No. 27. Стр. 480–494. https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.27.3.026. (На русс.).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности: *Исследования проведены при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках гранта № AP23488291 «Разработка многофункционального ресурса экологической паспортизации районов падения отделяющихся частей ракет-носителей методом адаптивного представления интерактивных ГИС».*

Введение.

Экологический мониторинг территорий, подверженных воздействию ракетно-космической деятельности, - актуальная задача обеспечения экологической безопасности. Космодром Байконур десятилетиями используется для запусков ракет-носителей, отработавшие ступени которых падают на специально выделенные участки - районы падения. На территории Республики Казахстан размещено 53 района падения общей площадью 4,94 млн га. Их значительная площадь и рассредоточенность делают систематический экологический контроль чрезвычайно трудоемким.

Падение отработавших ступеней сопровождается загрязнением окружающей среды высокотоксичным ракетным топливом - несимметричным диметилгидразином (НДМГ, UDMH) и продуктами его трансформации, ключевую роль среди которых играет N-нитрозодиметиламин (NDMA) - стабильный высокотоксичный канцерогенный продукт с высокой персистентностью (Королева и др., 2023; Milyushkin et al., 2023). Восстановление территорий требует методов биоремедиации (Bekeshev et al., 2024), что делает актуальной задачу точной и оперативной оценки степени загрязнения.

Оценка загрязнения основана на отборе проб и лабораторном определении НДМГ и NDMA. Эти анализы требуют специализированного оборудования, дороги и выполняются с задержкой, тогда как pH, содержание нитратов, нитритов и нефтепродуктов определяются в обычной лаборатории, а положение про-

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

бы относительно места падения и глубина отбора известны сразу. Применение геоинформационных технологий для экологической оценки территорий рассмотрено в работах (Павлова и др., 2024; Кузнецова и др., 2024; Сегал и др., 2023). Методы машинного обучения позволяют связать совокупность косвенных показателей с фактом загрязнения без явного задания пороговых правил, их теоретические основы изложены в работах (Cover et al., 1967; Breiman, 2001; Friedman, 2001; Hastie et al., 2009). При этом для данных с пространственной структурой обычная случайная кросс-валидация завышает качество моделей, поскольку соседние пробы попадают одновременно в обучение и проверку, и рекомендуются блочные схемы проверки (Roberts et al., 2017), а при редких положительных примерах доля правильных ответов теряет смысл и предпочтительны ROC-AUC и площадь под кривой точность-полнота (Saito, 2015).

Работы по машинному обучению для районов падения немногочисленны, а в опубликованных сравнениях алгоритмов классы загрязнения нередко задаются по тем же показателям, которые подаются моделям на вход. В таком случае модель воспроизводит пороговое правило, и высокая точность ничего не говорит о её прогностической способности. Открытым остаётся вопрос, несут ли косвенные показатели и положение пробы достаточно информации, чтобы предсказать загрязнение НДМГ и NDMA без их прямого определения.

Объектом исследования являются почвы места падения отделяющихся частей ракеты-носителя, предметом - методы классификации загрязнения по косвенным показателям. И Цель исследования - проверить, можно ли по положению пробы, глубине отбора и общим химическим показателям почвы предсказать факт загрязнения НДМГ и NDMA с качеством, превышающим простое правило по расстоянию от места падения, и оценить, какие показатели для этого наиболее информативны. Гипотеза исследования: косвенные показатели содержат сигнал о загрязнении, и модели машинного обучения ранжируют пробы по риску загрязнения лучше правила по расстоянию при проверке, учитывающей пространственную структуру данных.

Материалы и методы.

Четыре алгоритма классификации представляют различные семейства методов: линейные модели (логистическая регрессия), метрические непараметрические (k ближайших соседей), ансамбли на основе бэггинга (случайный лес) и бустинга (градиентный бустинг). Их сравнение с базовым правилом по расстоянию показывает, добавляют ли косвенные химические показатели что-либо к положению пробы.

Исходные данные - открытый датасет обследования места аварии ракеты-носителя «Союз-ФГ» в Казахстане (Semenkov et al., 2024; Bekeshev et al., 2024). Он содержит 227 проб почвы, отобранных на расстояниях от 0 до 50 м от центра падения баков с тремя слоями по глубине, с результатами определения pH, нитратов, нитритов и нефтепродуктов двумя лабораториями в осеннюю и весеннюю съёмки, а также НДМГ и NDMA в 2018 и 2019 гг. Существенно, что НДМГ и NDMA определены не во всех пробах: пометка «nd» в датасете означает,

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

что анализ не выполнялся, а не что вещество не обнаружено. Поэтому в разметке использованы только пробы с фактическими измерениями: 26 записей 2018 г. и 37 записей 2019 г., всего 63 записи по 53 пробам, из которых 10 проб измерены в оба года. В предыдущей редакции работы значения «nd» трактовались как значения ниже предела обнаружения, что завышало число незагрязнённых проб, и этот недостаток здесь устранён.

Классы загрязнения заданы по пороговым значениям НДМГ и NDMA, принятым в санитарно-гигиенической практике: «низкий» при НДМГ < 0,05 и NDMA < 0,05 мг/кг, «средний» при 0,05–0,5 мг/кг хотя бы по одному веществу, «высокий» при значении выше 0,5 мг/кг. Среди 63 записей 44 относятся к классу «низкий», 13 к «среднему» и 6 к «высокому». Поскольку шесть записей класса «высокий» не позволяют обучить отдельный класс, в качестве целевой переменной принят бинарный признак «загрязнено» (НДМГ или NDMA не ниже 0,05 мг/кг), положительных записей 19 (30 %). Такое объединение сохраняет практический смысл задачи: выявить пробы, для которых загрязнение подтверждено.

Признаки не включают НДМГ и NDMA. Использованы семь косвенных показателей: расстояние от центра падения (для 15 проб, где оно не записано, восстановлено по координатам), глубина отбора (слой 1–3), год отбора, pH, содержание нитратов, нитритов и нефтепродуктов того же года измерения, а при их отсутствии - данные съёмки того же сезона. Расстояние и концентрации логарифмированы, значения ниже предела обнаружения заменены половиной предела. Для записей 2019 г. химические показатели известны лишь частично, поэтому пропуски заполнялись медианой с добавлением индикатора пропуска. Заполнение пропусков и стандартизация выполнялись внутри конвейера обучения на каждом обучающем фолде отдельно, чтобы исключить утечку информации из проверочной части. Один и тот же набор признаков использован во всех моделях, при анализе важности и в кластерном анализе. Дополнительно рассмотрен сокращённый набор только из положения пробы (расстояние, глубина, год), который показывает вклад химических показателей.

Для классификации применялись четыре алгоритма. Логистическая регрессия (Logistic Regression) служит базовой линейной моделью и оценивает вероятность класса через логистическую функцию. Метод k ближайших соседей (k-NN) относит объект к классу по k ближайшим обучающим примерам с весами, обратными расстоянию (Cover et al., 1967). Случайный лес (Random Forest) (Breiman, 2001) - ансамбль решающих деревьев на бутстрэп-выборках со случайным подмножеством признаков в узле, качество разбиения оценивается индексом неоднородности Джини (1):

$$G = 1 - \Sigma_k \, p_k^2 \qquad (1)$$

где p_k - доля объектов класса k в узле. Градиентный бустинг (Gradient Boosting) (Friedman, 2001) строит ансамбль последовательно, аппроксимируя антиградиент функции потерь, использована реализация на гистограммах. Дис-

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

баланс классов учтён весами классов, обратно пропорциональными их частоте, во всех моделях, где это предусмотрено. Важность признаков оценивалась перестановочным методом на отложенных фолдах: признак случайно перемешивался в проверочной части, и фиксировалось снижение ROC-AUC, что не зависит от способа построения дерева и применимо к любой модели (Hastie et al., 2009).

Гиперпараметры заданы заранее и не подбирались по проверочным данным: k = 5 для k-NN, 500 деревьев и минимум два объекта в листе для случайного леса, глубина 3, шаг обучения 0,05 и 150 итераций для градиентного бустинга, параметр регуляризации C = 1 для логистической регрессии. Базовое правило ранжирует пробы по близости к центру падения, а в бинарной форме относит к загрязнённым пробы в пределах 0,5 м от центра. Реализация выполнена на Python 3.9 с использованием scikit-learn 1.6 (Pedregosa et al., 2011), генератор случайных чисел фиксирован.

Кластерный анализ методом k-средних (MacQueen, 1967) выполнен по тем же косвенным признакам без НДМГ и NDMA, чтобы проверить, группируются ли пробы по общим химическим показателям и положению так, что группы совпадают с фактом загрязнения. Число кластеров варьировалось от 2 до 6, оценивались инерция (метод локтя) и коэффициент силуэта (Rousseeuw, 1987; Chicco et al., 2025), вычисляемый для каждого объекта по формуле (2):

$$s(i) = (b(i) - a(i)) / \max(a(i), b(i)) \quad (2)$$

где a(i) - среднее расстояние до объектов своего кластера, b(i) - минимальное среднее расстояние до объектов ближайшего кластера. Согласие кластеров с фактом загрязнения оценивалось таблицей сопряжённости и скорректированным индексом Рэнда (ARI). Кластеризация выполнена для 63 размеченных записей и отдельно для 111 проб с полной осенней съёмкой одной лаборатории.

Качество классификации оценивалось по ROC-AUC и площади под кривой точность-полнота (PR-AUC), которые не зависят от порога и устойчивы к дисбалансу (Saito et al., 2015), случайный уровень PR-AUC равен доле положительных записей. Дополнительно при пороге 0,5 рассчитывались сбалансированная точность (3) и полнота класса «загрязнено»:

$$BA = (TPR + TNR) / 2 \quad (3)$$

где TPR - доля верно выявленных загрязнённых записей, TNR - доля верно выявленных незагрязнённых. Основной протокол проверки - повторная стратифицированная кросс-валидация по группам: 5 фолдов, 20 повторов с разными разбиениями, при этом записи одной пробы за 2018 и 2019 гг. всегда попадают в один фолд. По повторам приводятся среднее и интервал между 2,5-м и 97,5-м процентилями. Пространственная проверка выполнена по схеме «одна группа расстояния целиком в проверке» для четырёх групп: 0–0,5 м, 2,5–5 м, 7,5–15 м и 20 м и дальше (Roberts et al., 2017). Временная проверка - обучение на записях

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

2018 г. и проверка на записях 2019 г. Отдельно оценена подвыборка 2018 г. с полностью измеренной химией (26 записей, 10 загрязнённых), где заполнение пропусков не требовалось.

Результаты и обсуждение.

Результаты повторной кросс-валидации представлены в таблице 1. Правило по расстоянию ранжирует записи лишь немного лучше случайного (ROC-AUC 0,59), модели только по положению пробы дают 0,70–0,72, а добавление химических показателей поднимает ROC-AUC логистической регрессии до 0,76 и случайного леса до 0,75 при PR-AUC 0,65–0,68 против случайного уровня 0,30. Интервалы по повторам у этих двух моделей не пересекаются с результатом правила. Градиентный бустинг на 63 записях переобучается и не превосходит случайный уровень, что согласуется с малым объёмом выборки.

Таблица 1. Качество классификации при повторной стратифицированной кросс-валидации (5 фолдов × 20 повторов)

Признаки	Модель	ROC-AUC	PR-AUC	Сбалансированная точность
Положение	Логистическая регрессия	0,71 (0,66–0,73)	0,54 (0,46–0,59)	0,61
Положение	k ближайших соседей	0,70 (0,67–0,74)	0,51 (0,44–0,57)	0,70
Положение	Случайный лес	0,72 (0,64–0,77)	0,59 (0,49–0,65)	0,64
Положение	Градиентный бустинг	0,55 (0,45–0,67)	0,42 (0,29–0,54)	0,53
Положение + химия	Логистическая регрессия	0,76 (0,71–0,79)	0,65 (0,60–0,69)	0,68
Положение + химия	k ближайших соседей	0,73 (0,67–0,77)	0,54 (0,44–0,61)	0,62
Положение + химия	Случайный лес	0,75 (0,66–0,81)	0,68 (0,59–0,74)	0,67
Положение + химия	Градиентный бустинг	0,54 (0,46–0,64)	0,40 (0,31–0,48)	0,53
Правило по расстоянию	-	0,59	0,36	0,57

Кривые точность-полнота (рисунок 1) показывают, что преимущество моделей с химическими показателями сохраняется во всём диапазоне полноты: при полноте 0,5 точность случайного леса и логистической регрессии составляет 0,55-0,65, правила по расстоянию 0,37. Логистическая регрессия и случайный лес дают близкие результаты, и для внедрения предпочтительна линейная модель как более простая и устойчивая при малом числе наблюдений (Hastie et al., 2009).

Проверки устойчивости сведены в таблицу 2. При пространственной проверке, когда целая группа расстояния уходит в проверочную часть, логистическая регрессия сохраняет ROC-AUC 0,72 и PR-AUC 0,61, метод k ближайших соседей 0,73 и 0,48, случайный лес 0,68 и 0,48. На подвыборке 2018 г. с полностью измеренной химией качество заметно выше: логистическая регрессия 0,87 (0,82–0,91), случайный лес 0,85 (0,80-0,89) против 0,76 у правила по расстоянию

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

и 0,77 у модели только по положению. Перенос во времени не удался: модели, обученные на записях 2018 г., ранжируют записи 2019 г. не лучше случайного (ROC-AUC 0,36–0,64). В 2019 г. пробы отбирались в других точках, химические показатели для них определены лишь частично, а загрязнение выявлено в основном по NDMA, поэтому связь между косвенными показателями и загрязнением изменилась.

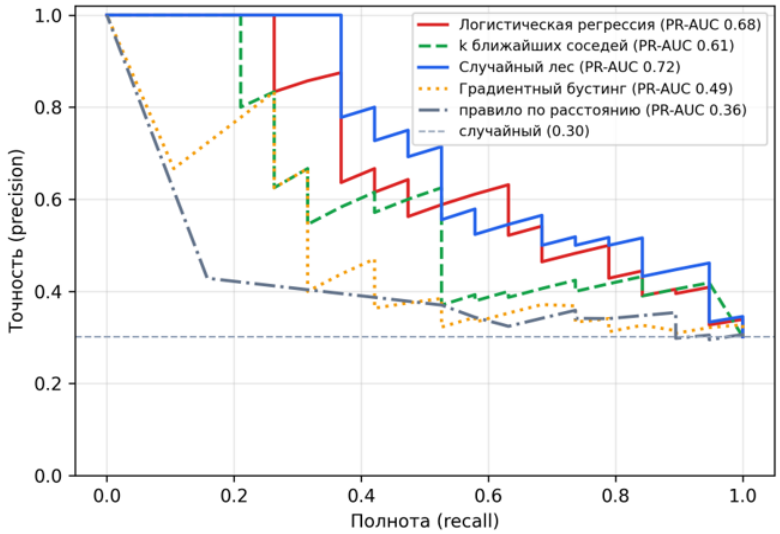


Рис. 1. Кривые точность-полнота моделей и правила по расстоянию (положение + химия, оценки вне фолда)

Таблица 2. Проверки устойчивости: пространственная, временная и подвыборка 2018 г.

Проверка	Модель	ROC-AUC	PR-AUC
Пространственная (по группам расстояния)	Логистическая регрессия	0,72	0,61
Пространственная (по группам расстояния)	k ближайших соседей	0,73	0,48
Пространственная (по группам расстояния)	Случайный лес	0,68	0,48
Временная (обучение 2018, проверка 2019)	Логистическая регрессия	0,64	0,34
Временная (обучение 2018, проверка 2019)	Случайный лес	0,43	0,32
Временная (обучение 2018, проверка 2019)	Правило по расстоянию	0,42	0,22
Подвыборка 2018 г., полная химия (n = 26)	Логистическая регрессия	0,87 (0,82–0,91)	0,82 (0,76–0,88)
Подвыборка 2018 г., полная химия (n = 26)	Случайный лес	0,85 (0,80–0,89)	0,85 (0,80–0,91)
Подвыборка 2018 г., полная химия (n = 26)	Только положение, логистическая регрессия	0,77 (0,71–0,81)	0,72 (0,64–0,78)
Подвыборка 2018 г., полная химия (n = 26)	Правило по расстоянию	0,76	0,63

Перестановочная важность признаков случайного леса (рисунок 2) показывает, что наибольший вклад вносят содержание нитратов (снижение ROC-

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

AUC на 0,13 при перемешивании) и глубина отбора (0,12), далее расстояние от центра (0,04) и нефтепродукты (0,04). Вклад pH, нитритов и года отбора не отличим от нуля. Половина суммарной важности приходится на два показателя, что допускает упрощённую схему предварительной оценки по глубине и содержанию нитратов.

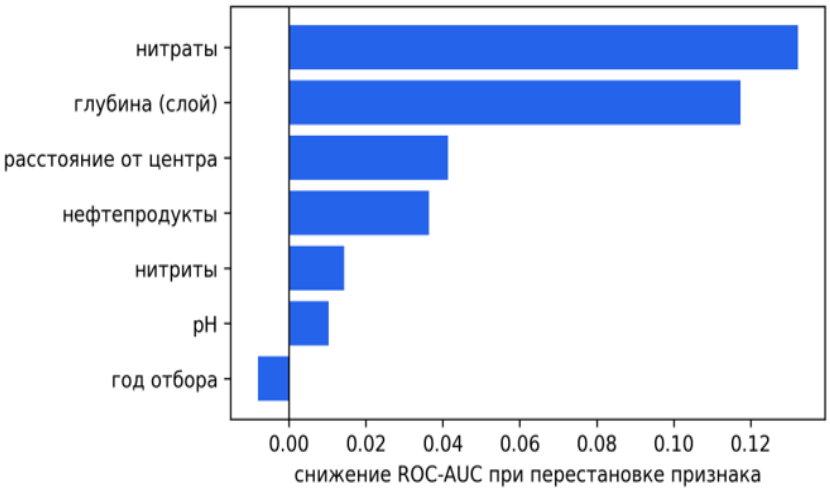


Рис. 2. Перестановочная важность признаков случайного леса на отложенных фолдах

Ведущая роль нитратов согласуется с представлениями о трансформации НДМГ в почве: окисление НДМГ и его продуктов сопровождается образованием азотсодержащих соединений, и повышенное содержание нитратов служит следом попадания топлива (Королева и др., 2023; Milyushkin et al., 2023), а загрязнение снегового покрова и почв азотсодержащими веществами при пусках описано в работе (Sharapova et al., 2020). Роль глубины отражает поверхностный характер загрязнения: в верхнем слое доля загрязнённых записей достигает 62 % у центра падения, во втором слое загрязнение отмечено только у центра, в третьем не выявлено. Приоритет контроля продуктов трансформации при эколого-гигиеническом мониторинге отмечен и в работе (Зяблицкая и др., 2023).

Кластерный анализ по косвенным признакам без НДМГ и NDMA (рисунок 3) не выделяет загрязнённые пробы как отдельную группу. Для 63 размеченных записей наибольший коэффициент силуэта 0,58 достигается при двух кластерах, но второй кластер состоит из двух проб с содержанием нитратов около 3000 мг/кг, а остальные записи, включая 17 из 19 загрязнённых, попадают в один кластер, скорректированный индекс Рэнда с фактом загрязнения равен 0,08. Для 111 проб с полной осенней съёмкой силуэт не превышает 0,30, кластеры отражают глубину и удалённость проб, а не загрязнение.

Таким образом, без учителя структура косвенных показателей воспроизводит схему отбора, а не факт загрязнения, и высокие значения силуэта при двух кластерах в подобных данных возникают из-за нескольких аномальных проб. В практике мониторинга кластеризация пригодна для выявления таких аномалий,

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

тогда как зонирование по риску загрязнения требует обучения с учителем.

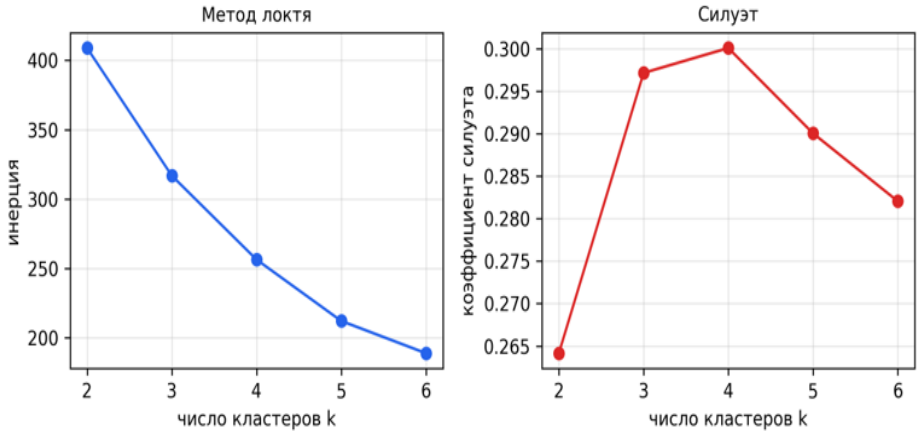


Рис. 3. Метод локтя и коэффициент силуэта для кластеризации 111 проб по косвенным признакам осенней съёмки

Схема зон загрязнения по расстоянию от центра и глубине отбора приведена на рисунке 4. Слева показана фактическая доля загрязнённых записей, справа средняя оценка риска случайного леса, полученная вне фолда, то есть для каждой записи моделью, которая её не видела. Модель воспроизводит основные черты: наибольший риск в верхнем слое у центра падения (0,58 при факте 0,62), заметный риск в верхнем слое на удалении 7,5–15 м (0,41 при факте 0,45) и низкий риск в нижних слоях. Расхождения проявляются во втором и третьем слоях на удалении, где модель даёт 0,2–0,3 при фактическом нуле, но число записей там мало. Координаты проб в датасете записаны с точностью около 3 м, что грубее шага отбора, поэтому схема построена по группам расстояния, а не по координатам.

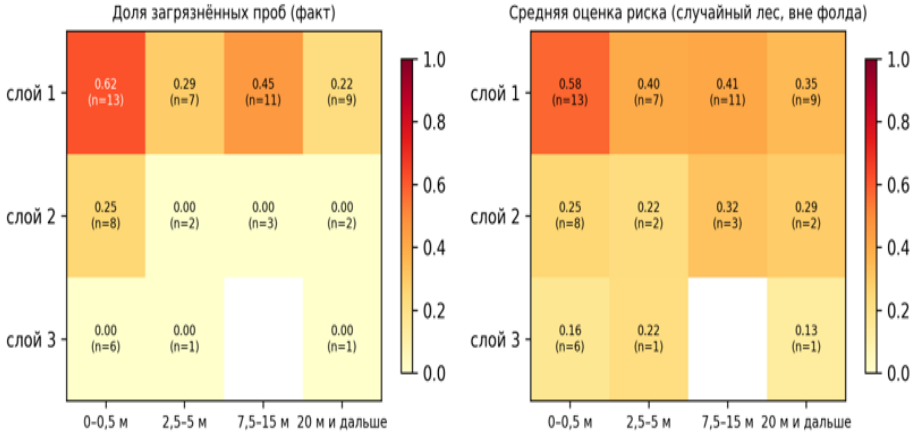


Рис. 4. Схема зон загрязнения по расстоянию от центра падения и глубине: факт и оценка риска вне фолда

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

С практической точки зрения модель по косвенным показателям применима как инструмент отбора проб для дорогостоящего анализа: при пороге, отвечающем полноте 0,8, в проверку на НДМГ и NDMA направляется около половины проб вместо всех, и при этом пропускается пятая часть загрязнённых. В геоинформационной системе мониторинга такая оценка риска может рассчитываться по данным съёмки сразу после отбора и отображаться по схеме отбора, а окончательное решение о зоне загрязнения принимается по результатам прямого анализа. Логистическая регрессия предпочтительна из-за простоты и интерпретируемости коэффициентов.

Ограничения исследования связаны с объёмом данных. Размеченных записей 63, загрязнённых 19, поэтому интервалы оценок широки, а различия между логистической регрессией, случайным лесом и методом ближайших соседей статистически не разделяются. Для записей 2019 г. химические показатели известны лишь частично, что снижает общий результат относительно подвыборки 2018 г. Модель не переносится между годами отбора, и для нового обследования её следует переобучать по мере поступления прямых анализов. В датасете отсутствуют метеорологические данные (температура, осадки, ветер), которые влияют на миграцию и трансформацию загрязнителей, их учёт требует иных наблюдений. Синтетическое дополнение выборки (SMOTE) при 19 положительных записях не применялось, поскольку интерполяция между немногими примерами не добавляет информации, дисбаланс учтён весами классов.

Заключение.

В работе проверено, можно ли предсказать загрязнение почв НДМГ и NDMA на месте падения ракеты-носителя по косвенным показателям, не используя сами эти вещества в качестве признаков. На 63 записях по 53 пробам с фактическими измерениями логистическая регрессия и случайный лес ранжируют пробы по риску загрязнения с ROC-AUC 0,75–0,76 при повторной кросс-валидации и 0,68–0,72 при пространственной проверке, тогда как правило по расстоянию даёт 0,59. На пробах с полностью измеренной химией качество достигает 0,85–0,87. Гипотеза о наличии сигнала в косвенных показателях подтверждена, наиболее информативны содержание нитратов и глубина отбора. Кластеризация без учителя загрязнение не воспроизводит, а модель не переносится между годами отбора.

Практическая значимость состоит в возможности отбирать пробы для дорогостоящего определения НДМГ и NDMA по результатам общего анализа и положению пробы, что сокращает объём прямых анализов при контролируемых потерях полноты, и в схеме зонирования по расстоянию и глубине, которая может встраиваться в геоинформационные системы экологического мониторинга районов падения. Дальнейшая работа связана с расширением выборки за счёт новых обследований с полным набором показателей и проверкой переносимости модели между местами падения.

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

REFERENCES

Bekeshev Y., Semenkov I., Stepanova Y., Karpachevskiy A., Lednev S., Klink G., Yerzhanov Y., Bapyshev A. & Koroleva T. (2024). Data on the temporal changes in soil properties at the emergency crash site of the launch vehicle 'Soyuz-FG' in Kazakhstan // Data in Brief. Article 110646. DOI: https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110646 [In Eng].

Bekeshev Y., Zhumabekova Zh. & Moldabekov M. (2024). Detoxification of contaminated soils from hydrocarbon rocket fuel used in «Soyuz» launch vehicles using the bioremediation method // Journal of Space Safety Engineering. — Pp. 605–613. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jsse.2024.07.004 [In Eng].

Breiman L. (2001). Random Forests // Machine Learning. — Pp. 5–32. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1010933404324 [In Eng].

Chicco D., Campagner A., Spagnolo A., Ciucci D. & Jurman G. (2025). The Silhouette coefficient and the Davies-Bouldin index are more informative than Dunn index, Calinski-Harabasz index, Shannon entropy, and Gap statistic for unsupervised clustering internal evaluation of two convex clusters // PeerJ Computer Science. DOI: https://doi.org/10.7717/peerj-cs.3309 [In Eng].

Cover T. & Hart P. (1967). Nearest neighbor pattern classification // IEEE Transactions on Information Theory. — Pp. 21–27. DOI: https://doi.org/10.1109/TIT.1967.1053964 [In Eng].

Friedman J.H. (2001). Greedy function approximation: a gradient boosting machine // The Annals of Statistics. — Pp. 1189–1232. DOI: https://doi.org/10.1214/aos/1013203451 [In Eng].

Hastie T., Tibshirani R. & Friedman J. (2009). The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction // 2nd ed. - New York: Springer. — Pp. 745. DOI: https://doi.org/10.1007/978-0-387-84858-7 [In Eng].

Koroleva T.V., Semenkov I.N., Sharapova A.V., Krechetov P.P. & Lednev S.A. (2021). Ecological consequences of space rocket accidents in Kazakhstan between 1999 and 2018 // Environmental Pollution. Article 115711. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115711 [In Eng].

Koroleva T.V., Semenkov I.N., Lednev S.A. & Soldatova O.S. (2023). Nesimmetrichnyy dimetilgidrazin (NDMG) i produkty yego transformatsii v pochvakh: istochniki postupleniya, diagnostika, povedeniye, toksichnost' i remediatsiya zagryaznennykh territoriy (obzor) [Unsymmetrical dimethylhydrazine (UDMH) and its transformation products in soils: sources, diagnostics, behavior, toxicity and remediation of contaminated areas (review)] // Pochvovedeniye. — Pp. 240–258. DOI: https://doi.org/10.1134/S1064229322602001 [In Russ.].

Kuznetsova M.N. & Melikhova A.V. (2024). Ispol'zovaniye GIS-tekhnologiy pri ekologicheskoy otsenke territoriy [Use of GIS technologies in environmental assessment of territories] // Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i yestestvennykh nauk. — Pp. 44–47. [In Russ.].

MacQueen J. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations // Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. — Pp. 281–297. [In Eng].

Milyushkin A.L. & Karnaeva A.E. (2023). Unsymmetrical dimethylhydrazine transformation products: A review // Science of The Total Environment. Article 164367. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164367 [In Eng].

Pavlova A.V., Gladskoy I.B. & Telyatnikov I.S. (2024). Tsifrovaya model' mestnosti regiona v primenenii k problemam ekologicheskogo monitoringa [Digital terrain model of the region in application to environmental monitoring problems] // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle. — Pp. 68–77. [In Russ].

Pedregosa F., Varoquaux G., Gramfort A. et al. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python // Journal of Machine Learning Research. — Pp. 2825–2830. [In Eng].

Roberts D.R., Bahn V., Ciuti S., Boyce M.S., Elith J., Guillera-Arroita G., Hauenstein S., Lahoz-Monfort J.J., Schröder B., Thuiller W., Warton D.I., Wintle B.A., Hartig F. & Dormann C.F. (2017). Cross-validation strategies for data with temporal, spatial, hierarchical, or phylogenetic structure // Ecography. — Pp. 913–929. DOI: https://doi.org/10.1111/ecog.02881 [In Eng].

Rousseeuw P.J. (1987). Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis // Journal of Computational and Applied Mathematics. — Pp. 53–65. DOI: https://doi.org/10.1016/0377-0427(87)90125-7 [In Eng].

Saito T. & Rehmsmeier M. (2015). The precision-recall plot is more informative than the ROC plot when evaluating binary classifiers on imbalanced datasets // PLoS ONE. - e0118432. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118432 [In Eng].

Segal A.M., Arustamov E.A. & Balakin V.A. (2023). Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya territorii i monitoring okruzhayushchey sredy s ispol'zovaniyem GIS-tekhnologiy [Assessment of the environmental state of the territory and environmental monitoring using GIS technologies] // Geodeziya i kartografiya. — Pp. 45–52. [In

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

Russ.].

Semenkov I., Bekeshev Y., Stepanova Y. & Koroleva T. (2024). Results of chemical analysis of soil properties at the emergency crash site of the launch vehicle 'Soyuz-FG' in Kazakhstan // Mendeley Data- V1. DOI: https://doi.org/10.17632/47twnk5dsh.1 [In Eng].

Semenkov I.N. & Koroleva T.V. (2022). Review on the environmental impact of emissions from space launches: a case study for areas affected by the Russian space programme // Environmental Science and Pollution Research. — Pp. 89807–89822. DOI: https://doi.org/10.1007/s11356-022-23888-8 [In Eng].

Sharapova A.V., Semenkov I.N., Koroleva T.V., Krechetov P.P., Lednev S.A. & Smolenkov A.D. (2020). Snow pollution by nitrogen-containing substances as a consequence of rocket launches from the Baikonur Cosmodrome // Science of the Total Environment. Article 136072. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136072 [In Eng].

Zyablitskaya A.N., Novikova I.I. & Shchuchinov L.V. (2023). Rezul'taty provedeniya ekologo-gigiyenicheskogo monitoringa v rayonakh padeniya otdelyayushchikhsya chastey raket-nositeley [Results of ecological and hygienic monitoring in the areas of falling rocket booster parts] // Meditsina truda i ekologiya cheloveka. — Pp. 82–94. [In Russ.].

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

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).

Издание АО "Международного университета информационных технологий"