

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



**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION
TECHNOLOGIES**

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

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ
ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ**

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

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

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

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

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

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

EDITOR-IN-CHIEF:

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

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

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

EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Damilya 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 Sansyrbay — PhD, research professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

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

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

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

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

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

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

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

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

MANAGING EDITOR

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

International Journal of Information and Communication Technologies

Periodicity: 4 times a year.

Languages: Kazakh, Russian, English

DOI prefix: 10.54309

ISSN 2708-2032 (print)

ISSN 2708-2040 (online)

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

Distribution: Materials are distributed under the Creative Commons Attribution 4.0

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

Owner: International Information Technology University JSC (Almaty).

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

РЕДАКЦИЯ

БАС РЕДАКТОР:

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

БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЫ:

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

РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА:

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

ЖАУАПТЫ РЕДАКТОР:

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

Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Префикс DOI: 10.54309

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Басылым тілі: қазақ, орыс, ағылшын.

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

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

Тарату: материалдар Creative Commons Attribution 4.0 лицензиясы бойынша таратылады

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

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

РЕДАКЦИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

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

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

Микеле Пагано — PhD, профессор Университета Пизы (Италия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР:

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

Международный журнал информационных и коммуникационных технологий

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Префикс DOI: 10.54309

Периодичность: 4 выпусков в год.

Язык издания: казахский, русский, английский.

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

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

Распространение: материалы распространяются по лицензии Creative Commons Attribution 4.0

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

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

CONTENTS

DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS

A.B. Zhalgas, Y.N. Kalpakov, B.Ye. Amirgaliyev
MACHINE LEARNING-DRIVEN OPTIMIZATION OF LOGISTICS IN SMART CITIES: A CASE STUDY OF ASTANA9

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

Y. Mailybayev, U. Adilbayeva, R. Amanova
ORGANIZATION OF AN ONLINE SURVEY OF PARTICIPANTS IN THE EDUCATIONAL PROCESS AND ANALYSIS OF THE RESULTS BASED ON THE MODIFIED DELPHI METHOD46

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

INFORMATION TECHNOLOGY

M. Zh. Aitimov, G. K. Muratova, Zh. K. Bissenbayeva, I.M. Bapiyev, M. Kassim
SEMANTIC COMPLETENESS IN KAZAKH-LANGUAGE EXTRACTIVE QA THROUGH ONTOLOGY AND RETRIEVAL MECHANISMS76

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

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

A. Ismailova, G. Yessenbayeva, K. Kadyrkulov, R. Moldasheva, A. Amangeldi
DEVELOPMENT OF A HYBRID DEEP LEARNING MODEL FOR MULTICLASS CLASSIFICATION OF MICROSCOPIC IMAGES OF BACTERIA128

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

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

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

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

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

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

G. Yusupova, K.S. Shadinova, D. Ussipbekova, Zh.Zh. Azhibekova, P. Schmidt
DETERMINATION OF SOIL PROFILE STRATIFICATION AT 0–200 CM DEPTH USING A MULTILEVEL STACKING MODEL231

INFORMATION SECURITY AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

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

МАЗМҰНЫ

ӘЛЕУМЕТТІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ДАМУДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

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

АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

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

М.Б. Нұрпейісова, Ш.Қ. Айтқазынова, А.М. Абенов, Н.С. Дөненбаева
СПУТНИКТИК КООРДИНАТТАРДЫ ТОПОЦЕНТРЛІК ТІК БҰРЫШТЫ КООРДИНАТТАР ЖҮЙЕСІНЕ ТҮРЛЕНДІРУДІҢ ӘДІСТЕМЕСІ189

А. Оспанов, П. Алонсо-Хорда, А. Жұмаділлаева
БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИЯСЫМЕН ЫҚПАЛДАС ERP ҚОЙМА ЖҮЙЕСІН ІОТ ДИМЕНСИОНЕРЛЕР ЖӘНЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АРҚЫЛЫ ОПТИМИЗАЦИЯЛАНҒАН ӨЛШЕМДІ САЛМАҚ ЕСЕПТЕУМЕН ИНТЕГРАЦИЯЛАУ202

А.А. Сахипов, Р.Б. Сейітбек
ОҚИҒАҒА БАҒДАРЛАНҒАН МИКРОҚЫЗМЕТТЕР ЖҮЙЕСІ АРҚЫЛЫ АҚЫЛДЫ ТРАФИК ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ ОҚИҒАЛАРДЫ АНЫҚТАУ ЖӘНЕ ШАРАЛАР ҚОЛДАНУ218

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

АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРҒА АРНАЛҒАН

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

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

Н.Е. Қарабаев, С.К. Серикбаева, Е.М. Марденов, Б. Тасуов, М. Файкус
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН КӨЛІК ЖЕЛІЛЕРІНДЕГІ КИБЕРШАБУЫЛДАРДЫ АНЫҚТАУ292

Б.А. Кумалаков, А.О. Даргулова
ТҮЙІНДЕМЕЛЕР МЕН ВАКАНСИЯЛАРДЫ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН СӘЙКЕСТЕНДІРУГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ГИБРИДТІ ҮМІТКЕРЛЕРДІ ІРІКТЕУ ЖҮЙЕСІ311

В. Махатова, Б. Джугембаева, А. Габдулова, Л. Нурғалиева, А. Абдигалиева
ИЕРАРХИЯЛАРДЫ ТАЛДАУ ӘДІСІ НЕГІЗІНДЕ SIEM ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ ОҢТАЙЛЫ СЕНСОРДЫ ТАҢДАУДЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ326

СОДЕРЖАНИЕ

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗВИТИИ СОЦИО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.Б. Жалғас, Е.Н. Калпаков, Б.Е. Амиргалиев
ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОГИСТИКИ В УМНЫХ ГОРОДАХ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ: НА ПРИМЕРЕ АСТАНЫ9

Л. Курмангазиева, Ш. Коданова, М. Уразғалиева, О. Финдик, С. Исакова
ИНТЕГРАЦИЯ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕШЕНИЙ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ24

Е. Майлыбаев, У. Адилбаева, Р. Аманова
СБОР МНЕНИЙ УЧАСТНИКОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПОСРЕДСТВОМ ОРГАНИЗОВАННОГО ОНЛАЙН-АНКЕТИРОВАНИЯ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА ДЕЛЬФИ46

В.А. Такижанов, А.Ж. Ибрагимов, А. Шалахметов
ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ АВТОБУСНОЙ СЕТИ АСТАНЫ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ СЛУЧАЙНЫХ И ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫХ ОТКАЗАХ61

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

М.Ж. Айтимов, Г.К. Муратова, Ж.К. Бисенбаева, И.М. Бапиев, М. Кассим
СЕМАНТИЧЕСКАЯ ПОЛНОТА В КАЗАХСКОЯЗЫЧНОМ EXTRACTIVE QA ЧЕРЕЗ ОНТОЛОГИЮ И RETRIEVAL-МЕХАНИЗМЫ76

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

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

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

INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Vol. 7. Is.1. Number 25 (2026). Pp. 231–243

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

<https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.015>

УДК 004.931

DETERMINATION OF SOIL PROFILE STRATIFICATION AT 0–200 CM DEPTH USING A MULTILEVEL STACKING MODEL

G. Yusupova¹, K.S. Shadinova^{2*}, D. Ussipbekova², Zh.Zh. Azhibekova², P. Schmidt³

¹ALT University, Almaty, Kazakhstan;

²Kazakh National University named after S.D. Asfendiyarov, Almaty, Kazakhstan;

³University of Economics, Bratislava, Slovakia.

E-mail: shadinova.ks@mail.ru

Gulbahar Yusupova — ALT UNIVERSITY, Department of Radio Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-9765-2221>;

Kunsulu Shadinova — associate professor, Department of Information and Communication Technology, Kazakh National University named after S.D. Asfendiyarov Almaty, Kazakhstan

E-mail: shadinova.ks@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-5534-7927>;

Dinara Ussipbekova — PhD, Lecturer, Department of Information Communication Technologies, Kazakh National University named after S.D. Asfendiyarov, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0009-0001-8567-6274>;

Zhanar Azhibekova — Candidate of Pedagogical Sciences, Head of the Department of Information Communication Technologies, Kazakh National University named after S.D. Asfendiyarov, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-4396-1261>;

Schmidt Peter — PhD, Professor, Head of the Department of Applied Informatics, Bratislava, University of Economics, Bratislava, Slovak Republic

<https://orcid.org/0000-0001-5928-2821>.

© G. Yusupova, K.S. Shadinova, D. Ussipbekova, Zh.Zh. Azhibekova, P. Schmidt

Abstract. In contemporary agroecological research and sustainable land management, accurate characterization of the vertical structure of soil profiles remains a critical task. Conventional approaches based on field drilling and laboratory analysis are time-consuming, costly, and spatially limited, which restricts their applicability at larger scales. This study proposes an automated soil stratification framework that integrates



Sentinel-2 multispectral imagery, ERA5-Land climatic variables, and OpenLandMap static soil datasets. A multi-task stacking ensemble was implemented to jointly predict quantitative soil properties such as clay and sand content and bulk density as well as categorical variables including texture and land cover classes. The modeling framework combined Random Forest, Gradient Boosting, and XGBoost as base learners, while linear and logistic regression models were used at the meta-learning stage. The experimental evaluation conducted in the Bozaigyry Lake Valley (Kazakhstan) demonstrated strong predictive performance. For clay and sand content, the coefficient of determination reached $R^2 = 0.999$ – 1.000 , with mean absolute errors of approximately 1.0–1.2 %. Bulk density predictions yielded R^2 values between 0.985 and 0.996. Overall classification accuracy ranged from 97.4 % to 99.7 % for texture classes and was close to 99 % for soil_horizon_class. Misclassifications were primarily observed between spectrally similar categories. The results indicate that a stacking-based ensemble integrating multispectral, climatic, and static soil information can provide an efficient and scalable solution for digital soil mapping, particularly in arid and semi-arid environments.

Keywords: soil stratification, soil profile, Sentinel-2, ERA5-Land, OpenLandMap, multispectral data, climatic variables, multi-task stacking, machine learning

For citation: G. Yusupova, K.S. Shadinova, D. Ussipbekova, Zh.Zh. Azhibekova, P. Schmidt (2026). Determination of soil profile stratification at 0–200 cm depth using a multilevel stacking model // International journal of information and communication technologies. Vol. 7. No. 25. Page 231-243. <https://doi.org/10.54309/ijict.2026.25.1.015>.

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

ТОПЫРАҚ ПРОФИЛІНІҢ 0–200 СМ ТЕРЕҢДІКТЕГІ СТРАТИФИКАЦИЯСЫН КӨПДЕҢГЕЙЛІ СТЕКИНГ-МОДЕЛІМЕН АНЫҚТАУ

Г.М. Юсупова¹, К.С. Шадинова^{2}, Д.И. Усипбекова², Ж.Ж. Ажибекова², P. Schmidt³*

¹ALT University, Алматы, Қазақстан;

²С.Ж. Асфендияров атындағы Қазақ Ұлттық Медициналық Университеті,
Алматы, Қазақстан;

³Братислава экономикалық университеті, Словакия.

E-mail: shadinova.ks@mail.ru

Юсупова Гульбахар Мадреймовна — ALT UNIVERSITY. «Радиотехника және телекоммуникациялар» кафедрасының қауымдасқан профессоры, PhD, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-9765-2221>;

Шадинова Күнсұлу Сейдақызы — С.Ж.Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университеті, ақпараттық-коммуникациялық технологиялар кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Алматы, Қазақстан

E-mail: shadinova.ks@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-5534-7927>;

Усипбекова Динара Избасаровна — Ақпараттық коммуникациялық технологиялар» кафедрасының PhD, лекторы, С.Ж. Асфендияров атындағы Қазақ Ұлттық Медициналық Университеті, Алматы, Қазақстан
<https://orcid.org/0009-0001-8567-6274>;

Ажибекова Жанар Жубандыковна — «Ақпараттық коммуникациялық технологиялар» кафедрасының меңгерушісі, педагогика ғылымдарының кандидаты, С.Ж. Асфендияров атындағы Қазақ Ұлттық Медициналық Университеті, Алматы, Қазақстан
<https://orcid.org/0000-0002-4396-1261>;

Шмидт П. — философия докторы (PhD), профессор, Братислава экономикалық университеті, «Қолданбалы информатика» кафедрасының меңгерушісі, Братислава қ., Словакия Республикасы
<https://orcid.org/0000-0001-5928-2821>.

© Г.М. Юсупова, К.С. Шадинова, Д.И. Усипбекова, Ж.Ж. Ажибекова, П. Шмидт

Аннотация. Қазіргі агроэкологиялық зерттеулер мен тұрақты жер пайдалануда топырақ профилінің тік стратификациясын дәл анықтау маңызды міндеттердің бірі болып табылады. Бұрғылау және зертханалық талдауға негізделген дәстүрлі әдістер көп еңбек пен қаржыны талап етеді және кеңістіктік камтуы шектеулі. Осы зерттеуде Sentinel-2 мультиспектралды суреттері, ERA5-Land климаттық айнымалылары және OpenLandMap статикалық топырақ карталары негізінде автоматтандырылған стратификация әдістемесі ұсынылады. Саз және құм мөлшері, топырақтың көлемдік тығыздығы сияқты сандық көрсеткіштерді, сондай-ақ текстуралық және жер жамылғысы кластарын бір мезгілде болжау үшін көпмақсатты стекинг ансамблі қолданылды. Базалық модельдер ретінде Random Forest, Gradient Boosting және XGBoost пайдаланылды, ал метамодель сызықтық және логистикалық регрессия негізінде құрылды. Бозайғыр көлі аңғарында (Қазақстан) жүргізілген тәжірибелік зерттеулер модельдің жоғары дәлдігін көрсетті. Саз және құм мөлшерін болжауда $R^2 = 0.999-1.000$, орташа абсолюттік қате шамамен 1.0–1.2 % болды. Топырақ тығыздығы үшін R^2 көрсеткіші 0.985–0.996 аралығында тіркелді. Текстуралық кластарды анықтау дәлдігі 97.4–99.7 % деңгейіне жетті, ал soil_horizon_class үшін шамамен 99% құрады. Қателіктер негізінен спектралдық сипаттамалары ұқсас категориялар арасында байқалды. Зерттеу нәтижелері мультиспектралды, климаттық және статикалық деректерді біріктіретін стекинг ансамблі цифрлық топырақ картографиясында, әсіресе құрғақ және жартылай құрғақ аймақтарда, тиімді әрі ауқымды қолдануға болатын әдіс екенін көрсетеді.

Түйін сөздер: опырак стратификациясы, топырақ профилі, Sentinel-2, ERA5-Land, OpenLandMap, мультиспектрлік деректер, климаттық айнымалылар, multi-task stacking, машиналық оқыту

Дәйексөздер үшін: Г.М. Юсупова, К.С. Шадинова, Д.И. Усипбекова,

Ж.Ж. Ажибекова, П. Шмидт (2026). Топырақ профилінің 0–200 см тереңдіктегі стратификациясын көпденгейлі стекинг-моделімен анықтау // Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы. Т. 7. No. 25. Б. 231–243. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.015>. (Қаз тіл.).

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРАТИФИКАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПРОФИЛЯ НА ГЛУБИНЕ 0–200 СМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ МНОГОУРОВНЕВОГО НАЛОЖЕНИЯ

Г.М. Юсупова¹, К.С. Шадинова^{2}, Д.И. Усипбекова², Ж.Ж. Ажибекова², П. Шмидт³*

¹ ALT University, Алматы, Казахстан;

²Казахский национальный университет имени С.Д. Асфендиярова, Алматы, Казахстан;

³Братиславский экономический университет, Братислава, Словакия.

E-mail: shadinova.ks@mail.ru

Юсупова Гульбахар Мадреймовна — PhD, ассоциированный профессор кафедры радиотехники и телекоммуникации, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/-0000-0001-9765-2221>;

Шадинова Кунсулу Сейдазовна — ассоциированный профессор кафедры информационно-коммуникационных технологий, Казахский национальный медицинский университет им. С.Д. Асфендиярова, Алматы, Казахстан

E-mail: shadinova.ks@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-5534-7927>;

Усипбекова Динара Избасаровна — PhD, лектор, кафедра информационных коммуникационных технологий, Казахский национальный университет имени С.Д. Асфендиярова, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0009-0001-8567-6274>;

Ажибекова Жанар Жубандыковна — кандидат педагогических наук, заведующая кафедрой информационно коммуникационных технологий, Казахский национальный университет имени С.Д. Асфендиярова, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-4396-1261>;

П. Шмидт — PhD, профессор, заведующий кафедрой прикладной информатики, Братиславский экономический университет, Братислава, Словацкая Республика
<https://orcid.org/0000-0001-5928-2821>.

© Г.М. Юсупова, К.С. Шадинова, Д.И. Усипбекова, Ж.Ж. Ажибекова, П. Шмидт

Аннотация. В современных агроэкологических исследованиях и практике устойчивого землепользования точное определение вертикальной стратификации почвенного профиля является одной из ключевых задач. Традиционные подходы, основанные на бурении и лабораторных анализах, требуют

значительных затрат времени и ресурсов, а также обеспечивают ограниченное пространственное покрытие. В данной работе предложена автоматизированная методика стратификации, объединяющая данные мультиспектральных снимков Sentinel-2, климатические переменные ERA5-Land и статические почвенные карты OpenLandMap. Для одновременного прогнозирования количественных показателей (содержание глины и песка, плотность сложения) и категориальных характеристик (текстурные классы и типы земного покрова) использована многоцелевая стекинг-модель. В качестве базовых алгоритмов применялись Random Forest, Gradient Boosting и XGBoost, а метамодель была реализована на основе линейной и логистической регрессии. Экспериментальные исследования, проведённые в долине озера Бозайгыр (Казахстан), продемонстрировали высокую точность прогнозирования. Для содержания глины и песка коэффициент детерминации составил $R^2 = 0.999-1.000$ при средней абсолютной ошибке около 1.0–1.2 %. Для плотности почвы R^2 варьировал в пределах 0.985–0.996. Общая точность классификации текстурных классов достигла 97.4–99.7 %, а для soil_horizon_class — около 99 %. Основные ошибки наблюдались между спектрально близкими категориями. Полученные результаты подтверждают, что ансамблевый стекинг-подход, интегрирующий мультиспектральные, климатические и статические почвенные данные, может служить эффективным инструментом цифрового картографирования почв, особенно для засушливых и полузасушливых регионов.

Ключевые слова: стратификация почв, почвенный профиль, Sentinel-2, ERA5-Land, OpenLandMap, мультиспектральные данные, климатические показатели, multi-task stacking, машинное обучение

Для цитирования: Г.М. Юсупова, К.С. Шадинова, Д.И. Усипбекова, Ж.Ж. Ажибекова, П. Шмидт (2026). Определение стратификации почвенного профиля на глубине 0–200 см с использованием модели многоуровневого наложения // Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. 2026. Т. 7. No. 25. Стр. 231–243. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.015>. (На каз.).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Кіріспе.

Қазіргі уақытта агроэкология, жер деградациясын бағалау және климаттық өзгерістер жағдайында орнықты жер пайдалану мәселелері топырақ профилінің вертикалды құрылымын дәл анықтауды маңызды зерттеу бағытына айналдырды. Топырақ қабаттылығы оның физикалық, морфологиялық және химиялық қасиеттерінің терендік бойынша өзгерісін сипаттайды. Алайда дәстүрлі бұрғылау мен зертханалық талдау әдістері көп еңбек пен қаржыны талап етеді, сондай-ақ кең аумақтарды қамту мүмкіндігі шектеулі болып келеді (Stumpf, 2024; Adeniyi және т.б., 2024). Соңғы жылдары цифрлық топырақ картографиясы (Digital Soil Mapping, DSM) қарқынды дамып, спутниктік деректерді, климаттық ақпаратты

және статистикалық топырақ карталарын біріктіру арқылы кеңістіктік болжау сапасын арттыруға мүмкіндік берді. SoilGrids және OpenLandMap жобалары 0–200 см тереңдік аралығындағы топырақ қасиеттерін модельдеудің тиімді тәсілдерін ұсынды (Poggio және т.б., 2021; Hengl және т.б., 2017). Сонымен қатар, қашықтықтан зондтау деректерін климаттық айнымалылармен бірге қолдану гранулометриялық құрамды, ылғал режимін және бірқатар физикалық сипаттамаларды болжауда жоғары нәтижелер көрсетіп отыр (Wang және т.б., 2025; Huang және т.б., 2025).

Дегенмен көптеген қолданыстағы модельдер негізінен топырақтың горизонтальды таралуын сипаттауға бағытталған. Тереңдік қабаттары арасындағы өзара байланысты ескермеу стратификацияны қалпына келтіру дәлдігін төмендетуі мүмкін (Li және т.б., 2023). Қазақстанның аридті және шөлейт аймақтарында 0–200 см тереңдіктегі топырақ құрылымын зерттеу ерекше мәнге ие, себебі гранулометриялық құрам, тығыздық және ылғал сыйымдылығы ауыл шаруашылығы өнімділігіне әрі жердің деградацияға бейімділігіне тікелей ықпал етеді. Аймақтық зерттеулер бұл бағыттың өзектілігін растайды: мысалы, Оңтүстік Қазақстанда топырақ тұздануын бағалауда Sentinel-1/2 және Landsat деректерінің тиімділігі көрсетілді (Mukhamediev және т.б., 2023), ал Шығыс Қазақстанда топырақ ылғалының өзгергіштігі климаттық факторлармен тығыз байланысты екені анықталды (Chernukh және т.б., 2025). Топырақ қасиеттерін тереңдік бойынша бір мезгілде болжау – күрделі көпмақсатты есеп. Мұндай міндеттерді шешуде multi-task ансамбльдік тәсілдер, соның ішінде стекинг (stacking), кеңінен қолданылады. Бұл әдіс әртүрлі алгоритмдердің нәтижелерін біріктіру арқылы сандық (clay, sand, bulk density) және категориялық (texture class, soil horizon class) көрсеткіштерді бір уақытта модельдеуге мүмкіндік береді (Wolpert, 1992; Sill және т.б., 2009). Бұған қоса, бірнеше дереккөзді интеграциялау – Sentinel-2 мультиспектрлік суреттері, ERA5-Land климаттық айнымалылары және OpenLandMap статикалық карталары – топырақ профилінің стратификациясын неғұрлым дәл сипаттауға жағдай жасайды.

Осыған байланысты зерттеудің мақсаты – Қазақстандағы Бозайғыр көлі алқабы аумағында топырақ профилінің 0–200 см тереңдікке дейінгі қабаттылығын автоматты түрде анықтауға арналған multi-task stacking ансамбліне негізделген кешенді әдісті ұсыну. Ұсынылған тәсіл Sentinel-2, ERA5-Land және OpenLandMap деректерін біріктіру арқылы вертикалды құрылымды кеңістіктік деңгейде бағалауға бағытталған.

Әдістер мен материалдар.

Бұл зерттеуде топырақ профилінің 0–200 см тереңдікке дейінгі физикалық және текстуралық қасиеттерін болжау үшін көпдереккөзді ақпаратты біріктіретін кешенді әдіс қолданылды. Әдіснама бірнеше негізгі кезеңдерден тұрады.

1-қадам. Sentinel-2 мультиспектрлік деректерін жинау. Sentinel-2A/B спутниктерінің COPERNICUS/S2_SR (Surface Reflectance) коллекциясынан деректер алынды. Барлық кескіндер Sen2Cor алгоритмімен атмосфералық түзетуден өтті.

Бұлттылығы 10 %-дан төмен суреттер таңдалып, әр ай үшін бір ең сапалы кадр іріктелді. 10–20 м ажыратымдылықтағы арналардан NDVI, SAVI, EVI, MSAVI, BSI, NDBI, NDSI, SCSi, SI, UI, GCI және MNDWI сияқты негізгі спектралдық индекстер есептелді. Бұл индекстер топырақтың құрылымдық ерекшеліктерін, ылғалдану деңгейін және беткі қабат сипаттарын ажыратуға мүмкіндік береді.

2-қадам. ERA5-Land климаттық айнымалыларын алу. ERA5-Land жаһандық қайта талдау деректерінен тәуліктік агрегатталған климаттық көрсеткіштер алынды. Оларға жауын-шашын, булану, беткі қысым және 0–289 см аралығындағы төрт қабаттағы көлемдік топырақ ылғалдылығы кірді. Бұл деректер аймақтың гидрометеорологиялық жағдайларын толық сипаттайды.

3-қадам. OpenLandMap статикалық топырақ қабаттарын енгізу. OpenLandMap жобасынан 0–200 см тереңдікте алынған саз (clay), құм (sand) және көлемдік тығыздық (bulk density) көрсеткіштері бар 18 қабат пайдаланылды. Бұл қабаттар топырақтың ұзақ мерзімді статикалық физикалық қасиеттерін сипаттайды.

4-қадам. Деректерді кеңістіктік және уақыттық біріктіру. Google Earth Engine платформасында барлық деректер кеңістіктік жағынан тураланып, ортақ торға келтірілді. Sentinel-2 кескіндерінің түсірілім күнімен сәйкестендірілген ERA5 көрсеткіштері таңдалды. Масштаб айырмашылықтары интерполяция және орташа мәндер арқылы түзетілді. Нәтижесінде мультидиапазонды біртұтас кескін құрылды.

5-қадам. Кездейсоқ нүктелерді таңдау және белгілеу. Зерттеу аумағынан кездейсоқ нүктелер генерацияланып, әр нүктеге барлық спектралдық, климаттық және топырақ мәндері тіркелді. Сонымен қатар USDA текстуралық үшбұрышы негізінде әр нүктеге текстуралық класс (Clay loam, Loam, Sandy loam) бепілді. Жер жамылғысы сегіз классқа бөлінді: water, bare/sparse vegetation, shrubland, forest, mixed vegetation, saline, grassland/steppe, aeolian-sandy. Осы кезеңнің нәтижесінде толық «Soil Profile Bozaigut» деректер жиынтығы құрылды.

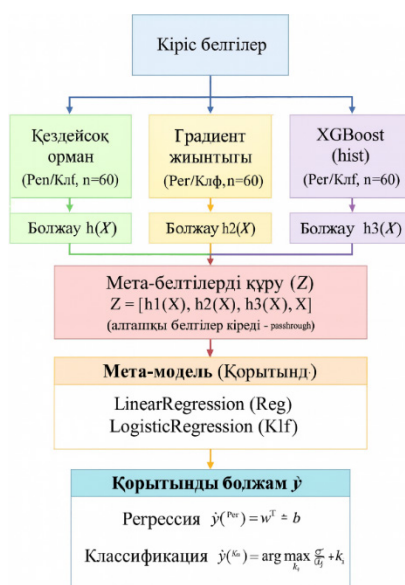
6-қадам. Multi-task stacking моделі арқылы модель құру. Топырақ қасиеттерін болжау үшін стекинг ансамблі қолданылды. 1-деңгейде Random Forest, Gradient Boosting және XGBoost модельдері жеке-жеке оқытылып, регрессиялық (clay, sand, bulk density) және классификациялық (texture class, horizon class) мақсаттарды болжап берді. 2-деңгейде мета-модель ретінде Linear Regression (регрессия үшін) және Logistic Regression (классификация үшін) қолданылды. Passthrough режимінде база модель болжамдары бастапқы белгілермен бірге мета-модельге берілді.

7-қадам. Модельді бағалау және сапаны өлшеу. Регрессиялық есептер үшін MAE, RMSE, R^2 , сондай-ақ AIC және BIC ақпараттық критерийлері есептелді. Классификациялық есептерде жалпы дәлдік (Accuracy), Macro-F1, Balanced accuracy және Multiclass log-loss көрсеткіштері пайдаланылды. Бұл бағалау стекинг ансамблінің бірмодельдік тәсілдерден артықшылығын айқындауға мүмкіндік берді.



8-қадам. Шектеулерді талдау. Sentinel-2 спектралдық арналары терең топырақ қабаттарына сезімталдығы төмен болғандықтан, 100–200 см деңгейде жоғалу ықтимал. ERA5-Land деректері микрорельефті толық бермейді, ал OpenLandMap маусымдық өзгерістерді қамтымайтын статикалық карта болып табылады. Спектралдық ұқсас категориялар арасындағы қателіктер де ескерілді.

Гибридті ансамбль архитектурасын әзірлеудегі негізгі қадам - соңғы мета-модель үшін кіріс ретінде қызмет ететін мета-ерекшелік кеңістігін қалыптастыру. 1-суретте көп тапсырмалы топырақ қасиетін болжау үшін қолданылатын жинақталған ансамбль моделінің құрылымдық диаграммасы көрсетілген. Архитектура үш гетерогенді базалық модельдің - Random Forest, Gradient Boosting және XGBoost - кезең-кезеңімен интеграциясын көрсетеді, олардың әрқайсысы жалпы кіріс X ерекшелігіне тәуелсіз оқытылады.



Сур. 1. Көпмақсатты стекинг ансамблінің архитектурасы

Осылайша, ұсынылған әдістемелік тәсіл мультиспектрлік спутниктік деректерді, климаттық айнымалыларды және тереңдікке қатысты топырақ карталарын біртұтас деректер кеңістігінде біріктіруге мүмкіндік береді. Алдын ала өңдеу, кеңістіктік сәйкестендіру және индикаторларды қалыптастыру кезеңдері нәтижесінде топырақ профилін сипаттайтын кешенді әрі көпқабатты ақпараттық база жасақталды. Multi-task stacking ансамблін пайдалану регрессиялық және классификациялық міндеттерді қатар орындауға жағдай жасап, айнымалылар арасындағы байланыстарды неғұрлым толық ескеруге мүмкіндік берді. Бұл тәсіл зерттеудің келесі бөлімінде алынған нәтижелерді жүйелі түрде талдауға және модельдің артықшылықтары мен ықтимал шектеулерін бағалауға негіз болады. Деректер жиыны стратификацияланған түрде бөлінді: 80 % - оқытуға, 10 % - валидацияға және 10 % - тестілеуге арналды. Модельдің тұрақтылығын тексеру мақса-

тында 5-краттық кросс-валидация жүргізілді. Болашақта географиялық жалпылау қабілетін бағалау үшін Bozaigyr өңірінен тыс аймақтардан тәуелсіз тест жиынтығын қосу жоспарлануда. Мұндай тәсіл модельдің тек нақты деректерге бейімделуін ғана емес, оның өңіраралық қолдану мүмкіндігін де бағалауға мүмкіндік береді. Soil_horizon_class айнымалысы OpenLandMap жобасындағы FAO–USDA Harmonized World Soil Database деректеріне сүйене отырып автоматты түрде алынған. Бұл көрсеткіш топырақ горизонтының морфологиялық ерекшеліктерін сипаттайтын халықаралық стандартталған жіктеуге негізделген. Сараптамалық қайта бағалауды талап етпейтін бірыңғай жіктеу жүйесін қолдану нәтижелерді интерпретациялауда деректердің тұрақтылығы мен қайталанғыштығын қамтамасыз етті және модельдің жалпы дәлдігіне оң ықпал етті.

Нәтижелер және оларды талқылау.

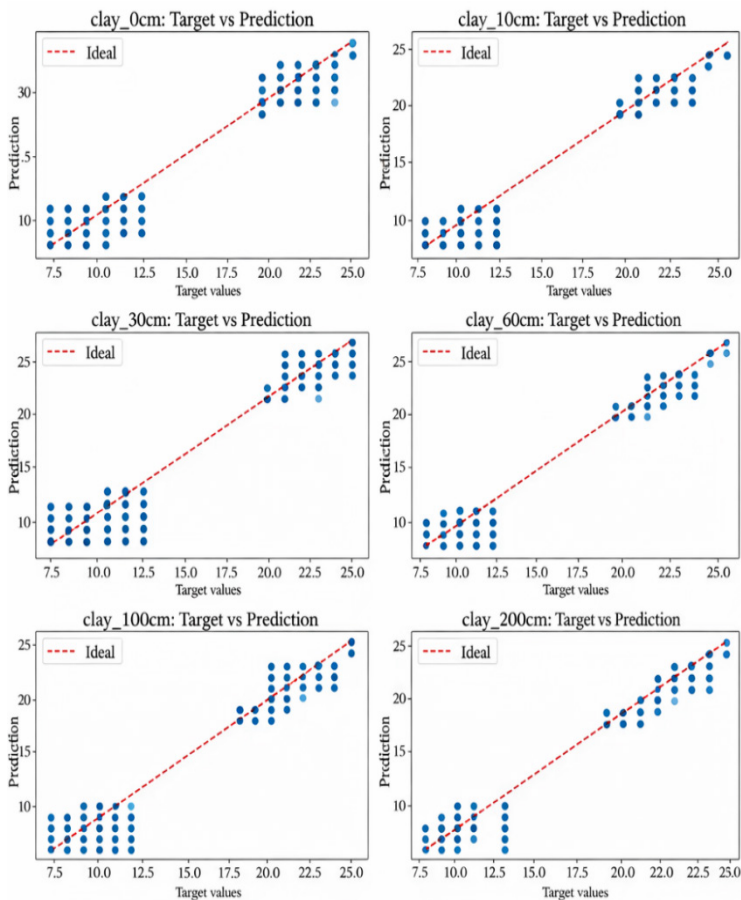
Зерттеу нәтижелері multi-task stacking ансамблінің саз (clay), құм (sand) мөлшері мен көлемдік тығыздық сияқты сандық топырақ қасиеттерін, сондай-ақ texture class және soil_horizon_class тәрізді категориялық айнымалыларды сенімді болжай алатынын көрсетті. Жалпы алғанда, стекинг тәсілі жекелеген модельдермен салыстырғанда тұрақты әрі жоғары нәтижелер берді. Сандық көрсеткіштер бойынша алынған мәндер өте жоғары дәлдікті сипаттайды. Clay және Sand үшін R^2 көрсеткіші 0.999–1.000 аралығында болды, ал орташа абсолюттік қате (MAE) шамамен 1.0–1.2 % құрады. Бұл болжамдардың нақты деректерге барынша жақын екенін білдіреді. Bulk density айнымалысы үшін R^2 0.985–0.996 диапазонында тіркелді, яғни модель топырақтың физикалық сипаттамаларын да сенімді бағалайды. Мұндай нәтижелер Sentinel-2 спектралдық деректері, ERA5-Land климаттық айнымалылары және OpenLandMap статикалық қабаттарының біріктірілуі тиімді болғанын көрсетеді. Категориялық айнымалыларды жіктеу де жоғары деңгейде орындалды. Texture class үшін жалпы дәлдік 97.4–99.7% аралығында болды. Clay loam пен Loam кластарында белгілі бір шатасулар байқалды, бұл олардың спектралдық сипаттамаларының ұқсастығымен түсіндіріледі. Soil_horizon_class бойынша дәлдік шамамен 99% деңгейінде тіркелді. Бұл multi-task тәсілінің вертикалды профиль құрылымын ескеруге және әртүрлі дереккөздерден алынған белгілерді тиімді пайдалануға қабілетті екенін көрсетеді.

Stacking ансамблінің (Minasny және т.б., 2013; Neuvelink және т.б., 2004; Arrouays және т.б., 2014) тиімділігі ақпараттық критерийлер арқылы да бағаланды. AIC және BIC мәндері мета-модель құрылымының параметрлік күрделілік пен болжау дәлдігі арасындағы оңтайлы тепе-теңдікті қамтамасыз еткенін көрсетті. Мета-деңгейде базалық модельдердің болжамдарын және бастапқы белгілерді (passthrough) бірге пайдалану шамадан тыс үйренудің алдын алып, тереңдік деңгейлері арасындағы байланыстарды неғұрлым толық есепке алуға мүмкіндік берді. Қателіктерді талдау модельдің әлсіз тұстарын айқындады. Әсіресе спектралдық сипаттамалары ұқсас категориялар арасында (мысалы, saline – sandy немесе clay loam – loam) шатасулар жиірек кездесті. Мұндай жағдайлар көбіне өсімдік жамылғысы сирек аймақтарда байқалды, онда спектралдық сигнал



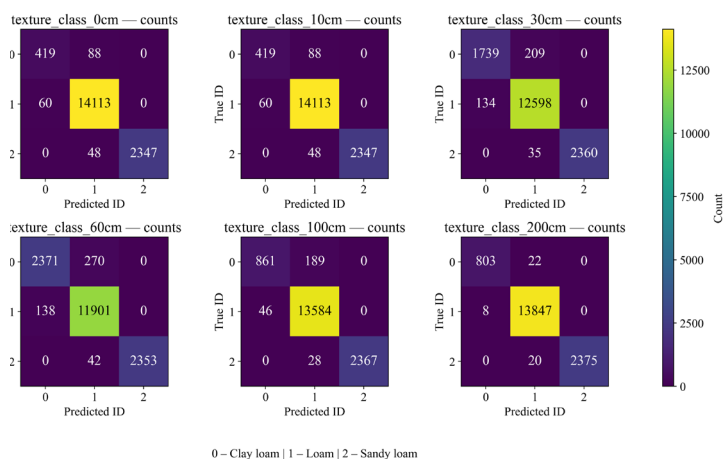
топырақ қасиеттерін анық ажыратуға жеткіліксіз болуы мүмкін. Сонымен қатар Sentinel-2 деректерінің 100–200 см тереңдіктегі қабаттарды тікелей сезбеуі осы деңгейдегі болжау нақтылығына әсер етуі ықтимал. Дегенмен ERA5-Land ылғалдылық көрсеткіштері мен OpenLandMap статикалық деректері бұл шектеуді белгілі бір дәрежеде өтеп, жалпы нәтижелердің жоғары деңгейде сақталуына ықпал етті.

2-суретте алты тереңдікте (0 см, 10 см, 30 см, 60 см, 100 см және 200 см) саздың пайыздық мөлшерін болжауға арналған көп міндетті қабаттастыру моделінің келесі нәтижелері көрсетілген.



Сур. 2. Әртүрлі тереңдіктегі саздың шынайы және болжамды құрамын салыстыру

3-суретте алты профиль горизонтында (0, 10, 30, 60, 100 және 200 см) текстура кластарын жіктеу тапсырмасына арналған алты 3×3 қателік матрицаларының орналасуы көрсетілген. Шынайы кластар тігінен, болжамды кластар көлденеңінен салынады; ұяшықтардағы түс пен белгілер пиксельдер/үлгілер санын көрсетеді. Барлық қабаттар үшін жалпы көрініс бірдей: диагональды элементтер басым, ал негізгі қателіктер 0 кластарының жұбына (сазбалшық) ↔ 1 (сазбалшық) түседі; 2-клас (құмды сазбалшық) жалған оң нәтижелерсіз іс жүзінде танылады.



Сур. 3. 0–200 см тереңдік бойынша текстура кластарын жіктеуге арналған қателік матрицалары

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер multi-task stacking ансамблінің топырақ профилінің қасиеттерін кешенді болжауда жоғары әлеуетке ие екенін көрсетті. Мультиспектрлік суреттер, климаттық деректер және статикалық топырақ карталарының комбинациясы күрделі профильдік өзгерістерді сенімді қалпына келтіруге мүмкіндік берді. Әсіресе аридті және шөлейт аймақтар үшін мұндай модельдер топырақ деградациясын, тұздану динамикасын және агроөндірістік әлеуетті бағалауда маңызды құрал бола алады.

Модель нәтижелерінің өте жоғары R^2 мәндері (0.999–1.000) OpenLandMap статикалық қабаттарының дереккөз ретіндегі тұрақтылығының әсерімен түсіндіріледі. Бұл қабаттар оқыту кезеңінде мета-ерекшеліктер ретінде емес, бастапқы физикалық топырақ қасиеттерін сипаттайтын тұрақты фондық айнымалылар ретінде пайдаланылды. Сондықтан модельде деректердің өзара корреляциясы жоғары болды.

Қорытынды.

Бұл зерттеуде Sentinel-2 мультиспектрлік суреттері, ERA5-Land климаттық айнымалылары және OpenLandMap статикалық топырақ карталарын біріктіретін multi-task stacking ансамблі негізінде топырақ профилінің 0–200 см тереңдікке дейінгі стратификациясын автоматты түрде анықтау әдістемесі ұсынылды. Өзірленген көпдеңгейлі модель топырақтың саз және құм мөлшері, көлемдік тығыздық сияқты сандық көрсеткіштерін, сондай-ақ текстуралық класс пен soil_horizon_class секілді категориялық айнымалыларын бір уақытта және жоғары дәлдікпен болжауға мүмкіндік берді. Эксперименттік зерттеу нәтижелері модельдің тиімділігін айқын көрсетті: сандық қасиеттер бойынша $R^2 = 0.999–1.000$ (clay, sand), $R^2 = 0.985–0.996$ (bulk density) мәндері алынды, ал классификациялық тапсырмаларда дәлдік 97.4–99.7 % диапазонында болды. Мұндай жоғары нәтижелер стекинг ансамблінің жеке моделдермен салыстырғанда

жасырын көпбағытты тәуелділіктерді жақсы игеретінін дәлелдейді. Сонымен қатар ұсынылған тәсіл әртүрлі дереккөздердің — спектралдық, климаттық және статикалық топырақ карталарының — өзара толықтырушы ақпаратын тиімді пайдаланып, топырақ профилінің вертикалды құрылымын қалпына келтіру сапасын арттырды. Жүргізілген талдау барысында анықталған негізгі шектеулерге спектралдық арналары бір-біріне ұқсас категорияларды ажыратудағы шатасулар және Sentinel-2 деректерінің терең (>100 см) қабаттарға сезімталдығының төмендігі жатады. Алайда климаттық (ERA5-Land) және статикалық (OpenLandMap) деректер бұл кемшіліктерді айтарлықтай толықтырды, нәтижесінде модельдің жалпы болжамдық қабілеті жоғары деңгейде сақталды.

Болашақ зерттеулерде модельді Қазақстанның басқа аридті ландшафттарында трансферлік оқыту (transfer learning) арқылы тексеру жоспарланып отыр. Бұл тәсіл модельдің аймақаралық жалпылама қабілетін бағалауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар алынған стратификация нәтижелерін агроэкологиялық модельдермен (мысалы, су балансы, эрозия қаупін бағалау, өнімділік болжамдары) интеграциялау ауыл шаруашылығы мен жер ресурстарын басқаруға арналған кешенді шешімдер әзірлеуге жол ашады.

Жалпы алғанда, әзірленген multi-task stacking ансамблі аридті және шөлейт аймақтарда цифрлық топырақ картографиясын автоматтандыруға арналған пәрменді құрал болып табылады. Әдістеме топырақ деградациясын бағалау, ауыл шаруашылығы жерлерінің өнімділігін болжау, климаттық тәуекелдерді модельдеу және өңірлік экожүйелерді мониторингілеу сияқты қолданбалы міндеттерде кеңінен қолдануға мүмкіндік береді. Болашақ зерттеулерде жоғары ажыратымдылықтағы радарлық деректерді (Sentinel-1), жерүсті in-situ өлшемдерін және тереңдік бойынша гидрoфизикалық параметрлерді қосу модельдің дәлдігін одан әрі арттыруға ықпал етеді.

REFERENCES

- Adeniyi, O.; Daramola, A.; Fashae, O.; Agbaje, T. (2024). Recent Trends in Digital Soil Mapping: Opportunities and Challenges in Sub-Saharan. — *Africa. Land*. Vol. 13(3). Pp 379. <https://doi.org/10.3390/land13030379>.
- Arrouays, D.; McKenzie, N.; Hempel, J.; Richer de Forges, A.C.; McBratney A.B. (2014). GlobalSoilMap // Basis of the Global Spatial Soil Information System. *CRC Press*, Boca Raton. <https://doi.org/10.1201/b16500>.
- Chernykh, D.; Artenov, D.; Zhumabekov, A.; et al. (2025). Analysis of Soil Moisture Variability in East Kazakhstan Under Climate Change Conditions // *Journal of Arid Environments*. Vol. 208. // Article 104122. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2024.104122>.
- Hengl, T.; de Jesus, J.M.; Heuvelink, G.B.; et al. (2017). SoilGrids250m: Global Gridded Soil Information Based on Machine Learning. *PLoS ONE*. Vol.12(2). // Article 0169748. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748>.
- Heuvelink, G.B.M.; de Bruin, S.; Bierkens, M.F.P. (2004). Mapping Soil Properties Using Kriging with External Drift and Remote Sensing Data. *Geoderma*. Vol. 123(3–4). Pp. 249–265. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.02.006>.
- Huang, H.; Jiang, Z.; Lu, Y. (2025). Digital Mapping of Soil pH Using Multi-Source Data and Feature Selection Methods. *Sustainability*. Vol. 17(7). 3173. <https://doi.org/10.3390/su17073173>.
- Li, Y.; Zhang, X.; You, Q.; et al. (2023). A Novel Multilayer Soil Mapping Approach Using Vertical Correlation and Deep Learning. *Geoderma*. Vol. 424. Article 116145. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116145>.

Minasny, B.; McBratney, A.B.; Malone, B.P.; Wheeler, I. (2013). Digital Mapping of Soil Carbon // *Advances in Agronomy*. Vol. 118. Pp. 1–47. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405942-9.00001-3>.

Mukhamediev, S.; Issayeva, G.; Yermekov, M.; et al. (2023). Assessment of Soil Salinization Dynamics in Southern Kazakhstan Using Sentinel-1/2 and Landsat Data // *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol.195(9). 1123. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-10838-1>.

Poggio, L. (2024). Machine Learning Approaches for Digital Soil Mapping // Current Trends and Future Directions. *Geoderma Regional*. Vol.34 // Article e00765. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00765>.

Poggio, L.; de Sousa, L.M.; Batjes, N.H.; et al. (2021). SoilGrids 2.0: Producing Soil Information for the Globe with Quantified Spatial Uncertainty // *SOIL*. Vol. 7(1). Pp. 217–240. <https://doi.org/10.5194/soil-7-217-2021>.

Sill, J.; Takács, G.; Mackey, L.; Lin, D. (2009). Feature-Weighted Linear Stacking for Improved Predictive Performance. *arXiv Preprint* // arXiv:0911.0460. <https://arxiv.org/abs/0911.0460>.

Stumpf F. (2024). Exploiting Soil and Remote Sensing Data Archives for 3D Digital Soil Mapping: A Machine Learning-Based Framework // *Remote Sensing*. Vol. 16(15). 2712. <https://doi.org/10.3390/rs16152712>.

Wang, L.; Chen, Y.; Xu, Y. (2025). Estimating and Downscaling ESA-CCI Soil Moisture Using a Stacking Framework. // *Remote Sensing*. Vol. 17(4). Pp. 716. <https://doi.org/10.3390/rs17040716>.

Wolpert, D. (1992). Stacked Generalization // *Neural Networks*. Vol. 5(2). Pp. 241–259. [https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(05\)80023-1](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(05)80023-1).



**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND
COMMUNICATION TECHNOLOGIES**

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ
ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Собственник:

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

Главный редактор:

Колесникова Катерина Викторовна

Ответственный редактор:

Мрзабаева Раушан Жалиевна

Компьютерная верстка:

Калабай Замзагуль Ертугановна

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

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Подписано в печать 30.03.2026.

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