

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. 2 (26). 2026
April–June

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ
ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ**

2020 жылдан бері шығарылады
Том 7. 2 (26). 2026
Сәуір-Маусым

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Издается с 2020 г.
Том 7. 2 (26). 2026
Апрель-Июнь

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

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

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

EDITOR-IN-CHIEF:

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

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

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

EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

MANAGING EDITOR

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

International Journal of Information and Communication Technologies

Periodicity: 4 times a year.

Languages: Kazakh, Russian, English

DOI prefix: 10.54309

ISSN 2708-2032 (print)

ISSN 2708-2040 (online)

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

Distribution: Materials are distributed under the Creative Commons Attribution 4.0

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

Owner: International Information Technology University JSC (Almaty).

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

РЕДАКЦИЯ

БАС РЕДАКТОР:

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

БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЫ:

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

РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА:

- Разак Абдул** — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының профессоры (Қазақстан)
Луччо Томмазо де Паолис — Саленто Университеті (Италия) инновация және технологиялық инжиниринг департаменті AVR зертханасының зерттеу және әзірлеу бөлімінің директоры
Лиз Бэкон — профессор, Абертей Университеті (Ұлыбритания) вице-канцлерінің орынбасары
Микеле Пагано — PhD, Пиза Университетінің (Италия) профессоры
Өтелбаев Мухтарбай Өтелбайұлы — физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті математика және компьютерлік модельдеу кафедрасының профессоры (Қазақстан)
Рысбайұлы Болатбек — физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Есептеу және деректер ғылымдары департаментінің профессоры, Astana IT University (Қазақстан)
Дайнеко Евгения Александровна — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)
Дузаев Нуржан 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 менгерушісі (Қазақстан)
Шильдибеков Ерлан Жаржанович — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті экономика және бизнес кафедрасының менгерушісі (Қазақстан)
Дамелия Максустовна Ескендрова — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының менгерушісі (Қазақстан)
Ниязгулова Айгуль Аскарбековна — филология ғылымдарының кандидаты, доцент, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті медиакоммуникация және Қазақстан тарихы кафедрасының менгерушісі (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 менгерушісі (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 менгерушісі (Украина)
Белюшицкая Светлана Васильевна — техника ғылымдарының докторы, доцент, Astana IT University есептеу және деректер ғылымы кафедрасының профессоры (Қазақстан)

ЖАУАПТЫ РЕДАКТОР:

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

Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Префикс DOI: 10.54309

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Басылым тілі: қазақ, орыс, ағылшын.

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

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

Тарату: материалдар Creative Commons Attribution 4.0 лицензиясы бойынша таратылады

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

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

РЕДАКЦИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

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

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

Микеле Пагано — PhD, профессор Университета Пизы (Италия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Дамеля 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)

Алимурали 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

D. Abzhanova, A. Biloshchytski

A MODEL AND METHOD FOR MANAGING DATA ON EMISSIONS FROM STATIONARY SOURCES OF POLLUTION IN AN INTELLIGENT ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM9

A. Slanbekova, M. Rakhimzhanova, A. Zhanibekova, A. Alimagambetova, M. Xudoyberganov

EARLY DETECTION OF HYDROLOGICAL HAZARDS BASED ON SPATIOTEMPORAL ANALYSIS25

INFORMATION TECHNOLOGY

F.N. Abdraimova, A.A. Kereibayeva, D.S. Dyussenova, D.A. Aliyeva, T.Zh. Toktarova

AI TECHNOLOGIES IN LANGUAGE EDUCATION: PRACTICAL ASPECTS AND CHALLENGES OF STUDENT USAGE36

G. Azieva, M. Yessenova, A. Abzhapparova, G. Abdikerimova, P. Schmidt

HYBRID STACKING FRAMEWORK FOR CROP CLASSIFICATION USING UAV DATA50

A.K. Aitim

JOINT MORPHOLOGICAL DISAMBIGUATION AND POS TAGGING FOR AGGLUTINATIVE LANGUAGES62

S.A. Yesniyazova, S.T. Kaimov

PREDICTIVE MAINTENANCE OF HEAVY-DUTY TRUCKS USING EXPLAINABLE MACHINE LEARNING78

T. Imanbekova, Zh. Ibrayeva, G. Jakanova, G. Askanbay

DATA COMPRESSION ALGORITHM BASED ON WAVELET TRANSFORMER; ANALYSIS AND IMPLEMENTATION IN MATLAB92

B.Z. Kenzhegulov, Zh.T. Bilyalova, K.N. Uteuliyeva, L. Nurgaliyeva, Sh.S. Nurzhanova

A MATHEMATICAL AND ALGORITHMIC APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT TEXT-TO-SQL SYSTEM BASED ON LARGE LANGUAGE MODELS110

N.Sh. Maxutova, J.A. Tussupov, A.A. Shekerbek, Zh.E. Kenzhebayeva, Q.O. Rakhimov

MACHINE LEARNING FOR COMPREHENSIVE EVALUATION OF CARDIOVASCULAR DISEASE RISK AND BIOCHEMICAL ALTERATIONS: FOCUS ON ASPARTATE AMINOTRANSFERASE131

O.S. Salykova, V.A. Madin, B.R. Salykov, D.N. Komarov, N.V. Manuilov

INTEGRATION OF MEMS ACCELEROMETER SENSOR MODULES IN INDUSTRIAL MONITORING SYSTEMS146

R. Taberkhan, M.A. Sambetbayeva, G. Kalman

KAZCAUSAL: THE FIRST CORPUS-BASED ANNOTATION OF CAUSAL RELATIONSHIPS IN THE KAZAKH LANGUAGE160

S.Tynymbayev, S.E. Mamanova, R. Berdybayev, Zh.E. Temirbekova, T. Chinibayeva

DIVIDING DEVICES WITH PRELIMINARY PREPARATION OF MULTIPLES OF THE DIVISOR172

K.N. Uteuliyeva, B.Z. Kenzhegulov, T.A. Karazhigitova, H.İ. Bülbül, Z.Zh. Zhanuzakova

MATHEMATICAL AND ALGORITHMIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF A COLLABORATIVE FILTERING-BASED RECOMMENDER SYSTEM188

S. Sharmukhanbet, G. Turmukhanova, O. Findik, V. Makhatova, L. Kurmangazyeva

HIGH-PRECISION ROBOTIC ASSEMBLY UNDER VARIABLE ILLUMINATION: A ROBUST MECHATRONIC ARCHITECTURE FOR VISUAL SERVOING209

INFORMATION SECURITY AND COMMUNICATIONTECHNOLOGIES

A. Amirbay, Z. Amanbaikyzy, K. Maxutova, A. Mukhanova, M. Kassim

MACHINE LEARNING ALGORITHM FOR EARLY DETECTION OF AUTISM SPECTRUM DISORDERS IN CHILDREN BASED ON MULTIMODAL ANALYSIS OF EYE MOVEMENTS AND FACIAL EXPRESSIONS227

K. Baisylbayeva, Sh. Mussiraliyeva, Zh. Yeltay

DETECTION OF EXTREMIST IDEOLOGY IN THE KAZAKH LANGUAGE: ANNOTATION CHALLENGES AND DEEP LEARNING APPROACHES242

M.A. Bolatbek, A.M.Usmanova, K.B. Bagitova, G.B. Baispay

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A METHOD FOR ANALYZING NETWORK TRAFFIC TO IDENTIFY A CYBER THREAT	261
D.I. Prokopovych-Tkachenko, N.K. Zhumagalieva, D.N. Shchytyov, N.F. Mormul, D.A. Cherkaskyi FUZZY MODEL FOR EVALUATING INFORMATION SECURITY PARAMETERS OF INFORMATION SYSTEMS UNDER INCOMPLETE AND QUALITATIVE DATA: CONSTRUCTION METHODOLOGY, RULE BASE TUNING, AND DEMONSTRATION CASE FOR ORGANIZATIONS	279
E.A. Pustovoy, O.A. Pustovaya, A.N. Raushanova, I.S. Zaurbekov EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF SYNTHESIS OF STOCHASTIC MODELS WITH CONTROLLED PROPERTIES	305
Y. Serzhan, T. Umarov, A. Abilbayeva FRAUD DETECTION IN CREDIT CARD TRANSACTIONS USING MACHINE LEARNING: A COMPARATIVE ANALYSIS	321

МАЗМҰНЫ

ӘЛЕУМЕТТІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ДАМУДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Д.Е. Абжанов, А.А. Белоощицкий ЭКОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГТІҢ ЗИЯТКЕРЛІК ЖҮЙЕСІНДЕГІ СТАЦИОНАРЛЫҚ ЛАСТАНУ КӨЗ-ДЕРІНІҢ ШЫҒАРЫНДЫЛАРЫ ТУРАЛЫ ДЕРЕКТЕРДІ БАСҚАРУДЫҢ МОДЕЛІ МЕН ӘДІСІ	9
А.Е. Сланбекова, М.Б. Рахимжанова, А.И. Жанибекова, А.З. Алимагамбетова, М. Худойбергенов КЕҢІСТІКТІК-УАҚЫТТЫҚ (SPATIOTEMPORAL) ТАЛДАУ НЕГІЗІНДЕ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ ҚАУІП-ҚАТЕРДІ ЕРТЕ АНЫҚТАУ	25

АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Ф.Н. Абдраимова, А.А. Керейбаева, Д.С. Дюсенова, Д.А. Алиева, Т.Ж. Токтарова ТІЛ БІЛІМІНДЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ: СТУДЕНТТЕР ҚОЛДАНУЫНЫҢ ПРАКТИКАЛЫҚ АСПЕКТІЛЕРІ МЕН МӘСЕЛЕЛЕРІ	36
Г.Т. Азиева, М.Б. Есенова, А.К. Абжаппарова, Г.Б. Абдикеримова, Р. Schmidt UAV ДЕРЕКТЕРІ НЕГІЗІНДЕ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ DAҚЫЛДАРЫН ЖІКТЕУГЕ АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ СТЕКИНГ МОДЕЛІ	50
Ә.Қ. Әйтiм АГГЛЮТИНАТИВТІ ТІЛДЕРГЕ АРНАЛҒАН МОРФОЛОГИЯЛЫҚ ДИЗАМБИГУАЦИЯ МЕН POS-ТАҢ-БАЛАУДЫ БІРЛЕСІП МОДЕЛЬДЕУ	62
С.А. Есниязова, С.Т. Каимов ТҮСІНДІРІЛЕТІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП АУЫР ЖҮК КӨЛІКТЕРІНЕ БОЛЖАМДЫ ТЕХНИКАЛЫҚ ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУ	78
Т.Д. Иманбекова, Ж.Б. Ибраева, Г.Т. Джаканова, Г.Т. Асқанбай МӘЛІМЕТТЕРДІ ВЕЙВЛЕТ-ТҮРЛЕНДІРГІШТІҢ НЕГІЗІНДЕ ҚЫСУ АЛГОРИТМІ; MATLAB ОРТАСЫНДА ТАЛДАУ ЖӘНЕ ІСКЕ АСЫРУ	92
Б.З. Кенжегулов, Ж.Т. Билялова, К.Н. Утеулиева, Л. Нурғалиева, Ш.С. Нуржанова ҮЛКЕН ТІЛДІК МОДЕЛЬДЕР НЕГІЗІНДЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ТЕХТ-ТО-SQL ЖҮЙЕСІН ӨЗІРЛЕУДІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ-АЛГОРИТМДІК ТӘСІЛІ	110
Н.Ш. Максұтова, Ж.А. Тусупов, А.Ә. Шекербек, Ж.Е. Кенжебаева, К.О. Рахимов ЖҮРЕК-ҚАН ТАМЫРЛАРЫ АУРУЛАРЫНЫҢ ҚАУІП-ҚАТЕРІН ЖӘНЕ БИОХИМИЯЛЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРДІ КЕШЕНДІ БАҒАЛАУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ: АСПАРТАМИНОТРАНСФЕРАЗАҒА ЕРЕКШЕ НАЗАР	131
О.С. Салықова, В.А. Мадин, Б.Р. Салықов, Д.Н. Комаров, Н.В. Мануилов ӨНЕРКӘСІПТІК МОНИТОРИНГ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ MEMS-АКСЕЛЕРОМЕТРЛЕРДІҢ СЕНСОРЛЫҚ МОДУЛЬДЕРІН ИНТЕГРАЦИЯЛАУ	146
Р. Таберхан, М.А. Самбетбаева, Г. Қалман KAZCAUSAL: ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕГІ СЕБЕП-САЛДАРЛЫҚ ҚАТЫНАСТАРДЫҢ АЛҒАШҚЫ КОРПУСТЫҚ АННОТАЦИЯСЫ	160
С. Тынымбаев, С.Е. Маманова, Р. Бердібаев, Ж.Е. Темірбекова, Т. Чинибаева БӨЛГІШТІҢ ЕСЕЛІ МӘНДЕРІН АЛДЫН АЛА ДАЙЫНДАУМЕН ЖҮЗЕГЕ АСЫРЫЛАТЫН БӨЛУ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫ	172



К.Н. Утеулиева, Б.З. Кенжегулов, Т.А. Каражигитова, Х. Булбул, З.Ж. Жанузакова КОЛЛАБОРАТИВТІК СҮЗГІЛЕУ НЕГІЗІНДЕГІ ҰСЫНЫМДЫҚ ЖҮЙЕНІ ӨЗІРЛЕУДІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ-АЛГОРИТМДІК ТӘСІЛДЕРІ	188
С. Шармуханбет, Г. Тұрмуханова, О. Финдик, В. Махатова, Л. Курмангазиева АЙНЫМАЛЫ ЖАРЫҚ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ ЖОҒАРЫ ДӘЛДІКТІ РОБОТТЫҚ ҚҰРАСТЫРУ: ВИЗУАЛДЫ СЕРВОТЕЖЕУДІҢ ТӨЗІМДІ МЕХАТРОНИКАЛЫҚ АРХИТЕКТУРАСЫ	209

АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРҒА АРНАЛҒАН

А. Амирбай, З. Аманбайқызы, К. МаксUTOBA, А. Муханова, М. Kassim КӨЗ ҚОЗҒАЛЫСТАРЫ МЕН БЕТ МИМИКА БЕЛГІЛЕРІН МУЛЬТИМОДАЛЬДЫ ТАЛДАУҒА НЕГІЗ- ДЕЛГЕН БАЛАЛАРДАҒЫ АУТИЗМ СПЕКТРІНІҢ БҰЗЫЛЫСТАРЫН ЕРТЕ АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АЛГОРИТМІ	227
К.Д. Байсылбаева, Ш.Ж. Мусиралиева, Ж. Елтай ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕГІ ӨКСТРЕМИСТИК ИДЕОЛОГИЯНЫ АНЫҚТАУ: АННОТАЦИЯЛАУ МӘСЕЛЕЛЕРІ ЖӘНЕ ТЕРЕҢ ОҚЫТУ ТӘСІЛДЕРІ	242
М.А. Болатбек, А.М. Усманова, Қ.Б. Багитова, Г.Б. Байспай КИБЕР ҚАУІПТІ АНЫҚТАУ ҮШІН ЖЕЛІЛІК ТРАФИКТІ ТАЛДАУ ӘДІСІН ӨЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ	261
Д.И. Прокопович-Ткаченко, Н.К. Жумагалиева, Д.Н. Щитов, Н.Ф. Мормуль, Д.А. Черкасский ТОЛЫҚ ЕМЕС ЖӘНЕ САПАЛЫҚ ДЕРЕКТЕР ЖАҒДАЙЫНДА АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ АҚПА- РАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ПАРАМЕТРЛЕРІН БАҒАЛАУДЫҢ БҰЛЫҢҒЫР МОДЕЛІ: ҚҰРУ ӘДІСТЕМЕСІ, ЕРЕЖЕЛЕР БАЗАСЫН БАПТАУ ЖӘНЕ ҰЙЫМДАРҒА АРНАЛҒАН ДЕМОСТРАЦИЯЛЫҚ КЕЙС	279
Е.А. Пустовой, О.А. Пустовая, А.Н. Раушанова, И.С. Заурбеков БАСҚАРЫЛАТЫН ҚАСИЕТТЕРІ БАР СТОХАСТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРДІ СИНТЕЗДЕУДІҢ ТИМДІЛІГІН БАҒАЛАУ	305
Е. Сержан, Т. Умаров, А. Әбілбаева МАШИНАЛЫҚ ОҚУ ӘДІСІ АРҚЫЛЫ КРЕДИТ КАРТА ОПЕРАЦИЯЛАРЫНДАҒЫ АЛАЯҚТЫҚТЫ АНЫҚТАУ: САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ	321

СОДЕРЖАНИЕ

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗВИТИИ СОЦИО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Д.Е. Абжанова, А.А. Белошицкий МОДЕЛЬ И МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ О ВЫБРОСАХ СТАЦИОНАРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	9
А.Е. Сланбекова, М.Б. Рахимжанова, А.И. Жанибекова, А.З. Алимагамбетова, М. Худойбергенов РАННЕЕ ВЫЯВЛЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННО- ВРЕМЕННОГО (SPATIOTEMPORAL) АНАЛИЗА	25

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Ф.Н. Абдраимова, А.А. Керейбаева, Д.С. Дюсенова, Д.А. Алиева, Т.Ж. Токтарова ТЕХНОЛОГИИ ИИ В ЯЗЫКОВОМ ОБРАЗОВАНИИ: ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ СТУДЕНТАМИ	36
Г.Т. Азиева, М.Б. Есенова, А.К. Абжаппарова, Г.Б. Абдикеримова, P. Schmidt ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ СТЕКИНГА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПО ДАННЫМ UAV	50
Ә.Қ. Әйтiм СОВМЕСТНАЯ МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ДИЗАМБИГУАЦИЯ И POS-РАЗМЕТКА ДЛЯ АГГЛЮТИНАТИВНЫХ ЯЗЫКОВ	62
С.А. Есниязова, С.Т. Каимов ПРЕДИКТИВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ТЯЖЁЛЫХ ГРУЗОВИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИ- ЕМ ОБЪЯСНИМОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	78
Т.Д. Иманбекова, Ж.Б. Ибраева, Г.Т. Джаканова, Г.Т. Асқанбай	

АЛГОРИТМ СЖАТИЯ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ: АНАЛИЗ И РЕАЛИЗАЦИЯ В МАТЛАВ	92
Б.З. Кенжегулов, Ж.Т. Билялова, К.Н. Утеулиева, Л. Нургалиева, Ш.С. Нуржанова МАТЕМАТИКО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТЕХТ-TO-SQL СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ	110
Н.Ш. МаксUTOва, Д.А. Тусупов, А.А. Шекербек, Ж.Е. Кенжебаева, К.О. Рахмтов МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ РИСКА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ И БИОХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ: АКЦЕНТ НА АСПАРТАМИНОТРАНСФЕРАЗЕ ...	131
О.С. Салыкова, В.А. Мадин, Б.Р. Салыков, Д.Н. Комаров, Н.В. Мануйлов ИНТЕГРАЦИЯ СЕНСОРНЫХ МОДУЛЕЙ MEMS-АКСЕЛЕРОМЕТРОВ В СИСТЕМАХ ПРОМЫШЛЕННОГО МОНИТОРИНГА	146
Р. Таберхан, М.А. Самбетбаева, Г. Калман KAZCAUSAL: ПЕРВАЯ КОРПУСНАЯ АННОТАЦИЯ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ НА КАЗАХСКОМ ЯЗЫКЕ	160
С. Тынымбаев, С.Е. Маманова, Р. Бердибаев, Ж.Е. Темирбекова, Т. Чинибаева УСТРОЙСТВА ДЕЛЕНИЯ ЧИСЕЛ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКОЙ КРАТНЫХ ДЕЛИТЕЛЮ	172
К.Н. Утеулиева, Б.З. Кенжегулов, Т.А. Каражигитова, Х.Бюльбюль, З.Ж. Жанузакова МАТЕМАТИКО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ КОЛЛАБОРАТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ	188
С. Шармуханбет, Г. Турмуханова, О.Финдик, В.Махатова, Л. Курмангазиева ВЫСОКОТОЧНАЯ РОБОТИЗИРОВАННАЯ СБОРКА ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ОСВЕЩЁННОСТИ: РОБАСТНАЯ МЕХАТРОННАЯ АРХИТЕКТУРА ВИЗУАЛЬНОГО СЕРВОУПРАВЛЕНИЯ	209

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

А. Амирбай, З. Аманбайкызы, К. МаксUTOва, А. Муханова, М. Kassim АЛГОРИТМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАННЕГО ВЫЯВЛЕНИЯ РАССТРОЙСТВ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА У ДЕТЕЙ НА ОСНОВЕ МУЛЬТМОДАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ДВИЖЕНИЯ ГЛАЗ И МИМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ	227
К.Д. Байсылбаева, Ш.Ж. Мусиралиева, Ж.Елтай ОБНАРУЖЕНИЕ ЭКСТРЕМИСТСКОЙ ИДЕОЛОГИИ НА КАЗАХСКОМ ЯЗЫКЕ: ПРОБЛЕМЫ АННОТИРОВАНИЯ И МЕТОДЫ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ	242
М.А. Болатбек, А.М. Усманова, К.Б. Багитова, Г.Б. Байспай РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА СЕТЕВОГО ТРАФИКА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КИБЕРУГРОЗЫ	261
Д.И. Прокопович-Ткаченко, Н.К. Жумагалиева, Д.Н. Щитов, Н.Ф. Мормуль, Д.А. Черкасский НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ДАННЫХ: МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ, НАСТРОЙКА БАЗЫ ПРАВИЛ И ДЕМОСТРАЦИОННЫЙ КЕЙС ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИЙ	279
Е.А. Пустовой, О.А. Пустовая, А.Н. Раушанова, И.С. Заурбеков ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИНТЕЗА СТОХАСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ С УПРАВЛЯЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ	305
Е. Сержан, Т. Умаров, А. Абильбаева ВЫЯВЛЕНИЕ МОШЕННИЧЕСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ОПЕРАЦИЯХ С КРЕДИТНЫМИ КАРТАМИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ	321



INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Vol. 7. Is.2. Number 26 (2026). Pp. 50–61

Journal homepage: <https://journal.iitu.edu.kz><https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.26.2.004>

IRSTI / FTAXP / MPHTI / 004.931

HYBRID STACKING FRAMEWORK FOR CROP CLASSIFICATION USING UAV DATA

G. Azieva¹, M. Yessenova^{2}, A. Abzhapparova³, G. Abdikerimova², P. Schmidt⁴*

¹Esil University, Astana, Kazakhstan;

²Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan;

³M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan;

⁴University of Economics, Bratislava, Slovakia.

E-mail: moldir_11.92@mail.ru

Azieva Gulmira — ESIL University, Senior Lecturer, Department of Information Systems and Technologies, Astana, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-7329-6768>;

Yessenova Moldir — Senior Lecturer, Department of Information Systems, L.N. Gumilyov Eurasian National University, PhD, Astana, Kazakhstan

E-mail: moldir_11.92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2644-0966>;

Abzhapparova Aigerim — M.Kh. Dulaty Taraz University, Senior Lecturer of the Department of Physics and informatics, Taraz, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-7500-9179>;

Abdikerimova Gulzira — Associate Professor, Department of Information Systems, Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, PhD, Astana, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-4953-0737>

Peter Schmidt — doctor of Philosophy (PhD), professor, head of the Department of Applied Informatics, Bratislava, University of Economics, Bratislava, Slovak Republic

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

© G. Azieva, M. Yessenova, A. Abzhapparova, G. Abdikerimova, P. Schmidt

Abstract. This study presents a two-level hybrid stacking framework for automatic crop classification using multispectral UAV orthomosaics. The proposed architecture combines several gradient boosting methods (LightGBM, XGBoost, and CatBoost), classical tree-based ensemble models (Random Forest and Extra Trees), and an Attention-based multilayer perceptron. During training, out-of-fold probability estimates generated by the base learners are used as inputs to a second-level Extra Trees meta-classifier, which produces the final prediction. The feature representation includes original spectral bands together with eight widely used vegetation indices (NDVI, NDRE, GNDVI,



SAVI, MSR, EVI, SIPI, and MSAVI). For each index and band, statistical descriptors such as mean and standard deviation are calculated to capture spatial variability within field segments. The experimental evaluation was carried out on real multispectral UAV data collected in Eastern Kazakhstan. The proposed model achieved high classification accuracy (approximately 95 %) and a macro-averaged F1-score close to 0.95. In addition, full-field spatial segmentation results demonstrated stable performance at the level of about 99%, indicating strong consistency across the study area. Overall, the findings suggest that combining heterogeneous machine learning models within a stacking framework improves robustness and generalization in crop classification tasks.

Keywords: crop classification, multispectral UAV data, orthomosaics, vegetation indices, hybrid stacking, two-level ensemble, machine learning, precision agriculture, spatial segmentation, digital agriculture

For citation: G. Azieva, M. Yessenova, A. Abzhapparova, G. Abdikerimova, P. Schmidt (2026). Hybrid stacking framework for crop classification using UAV data // International journal of information and communication technologies. Vol. 7. No. 26. Pp. 50–61. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.26.2.004>. (In Kaz.).

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

Acknowledgment: *This research is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP25793889 “Development of a system for identifying diseases and pests of agricultural crops based on artificial intelligence”).*

UAV ДЕРЕКТЕРІ НЕГІЗІНДЕ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ DAҚЫЛДАРЫН ЖІКТЕУГЕ АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ СТЕКИНГ МОДЕЛІ

Г.Т. Азиева¹, М.Б. Есенова^{2}, А.К. Абжаппарова³, Г.Б. Абдикеримова²,
P. Schmidt⁴*

¹Esil University, Астана, Қазақстан;

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;

³М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан;

⁴Братислава экономикалық университеті, Словакия.

E-mail: moldir_11.92@mail.ru

Азиева Гульмира Тагибергеновна — Esil University. «мекемесі, «Ақпараттық жүйе және технологиялар» кафедрасының аға оқытушысы, магистр, Астана, Қазақстан
<https://orcid.org/0000-0002-7329-6768>;

Есенова Молдир Балкаировна — Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Ақпараттық жүйелер кафедрасының аға оқытушысы, PhD, Астана, Қазақстан

E-mail: moldir_11.92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2644-0966>;

Абжаппарова Айгерим Кахармановна — М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, «Физика және информатика» кафедрасының аға оқытушысы, Тараз, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-7500-9179>;

Абдикеримова Гульзира Бахытбековна — Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Ақпараттық жүйелер кафедрасының доценті, PhD, Астана, Қазақстан
<https://orcid.org/0000-0002-4953-0737>;

P. Schmidt — философия докторы (PhD), профессор, Братислава экономикалық университеті, «Қолданбалы информатика» кафедрасының менгерушісі, Братислава қ., Словакия

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

© Г.Т. Азиева, М.Б. Есенова, А.К. Абжаппарова, Г.Б. Абдикеримова, P. Schmidt

Аннотация. Бұл зерттеуде UAV-дан алынған мультиспектрлі ортомозаикаларды қолдана отырып, дақылдарды автоматты түрде жіктеуге арналған екі қабатты гибридті қабаттастыру құрылымы ұсынылған. Ұсынылған архитектура бірнеше градиент күшейту әдістерін (LightGBM, XGBoost және CatBoost), классикалық ағаш негізіндегі ансамбльдік модельдерді (Random Forest және Extra Trees) және назар аудару механизміне негізделген көп қабатты перцептронды біріктіреді. Оқыту кезінде базалық жіктеуіштермен алынған ықтималдық бағалары екінші қабатты метаклассификаторға (Extra Trees) кіріс ретінде пайдаланылады, бұл соңғы болжамды жасайды. Белгілердің көрінісі бастапқы спектрлік жолақтарды сегіз кеңінен қолданылатын өсімдік индекстерімен (NDVI, NDRE, GNDVI, SAVI, MSR, EVI, SIPI және MSAVI) бірге қамтиды. Әрбір индекс пен жолақ үшін орташа және стандартты ауытқу сияқты статистикалық сипаттамалар далалық сегменттердегі кеңістіктік өзгергіштікті ескеру үшін есептеледі. Шығыс Қазақстанда UAV алған нақты әлемдегі мультиспектрлі деректер бойынша эксперименттік бағалау жүргізілді. Ұсынылған модель жоғары жіктеу дәлдігіне (шамамен 95 %) және 0,95-ке жақын макроорташа F1-метрикалық ұпайына қол жеткізді. Сонымен қатар, бүкіл егістік бойынша кеңістіктік сегменттеу нәтижелері шамамен 99 % тұрақты өнімділікті көрсетті, бұл бүкіл зерттеу аймағында жоғары тұрақтылықты көрсетеді. Жалпы алғанда, нәтижелер гетерогенді машиналық оқыту модельдерін қабаттасқан құрылымда біріктіру дақылдарды жіктеу тапсырмаларында беріктік пен жалпылау мүмкіндігін жақсартатынын көрсетеді.

Түйінді сөздер: ауыл шаруашылығы дақылдарын жіктеу, мультиспектралды UAV деректері, ортомозаика, вегетациялық индекстер, гибридті стекинг, екі деңгейлі ансамбль, машиналық оқыту, дәл егіншілік, кеңістіктік сегментация, цифрлық ауыл шаруашылығы

Дәйексөздер үшін: Г.Т. Азиева, М.Б. Есенова, А.К. Абжаппарова, Г.Б. Абдикеримова, P. Schmidt (2026). UAV деректері негізінде ауыл шаруашылығы дақылдарын жіктеуге арналған гибридті стекинг моделі // Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы. Т. 7. No. 26. 50–61. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.26.2.004>. (Қаз. тіл.).

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

Алғыс: Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (Грант № AP25793889 «Жасанды интеллект негізінде ауыл шаруашылығы дақылдарының аурулары мен зиянкестерін анықтау жүйесін әзірлеу»).

ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ СТЕКИНГА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПО ДАННЫМ UAV

Г.Т. Азиева¹, М.Б. Есенова^{2*}, А.К. Абжаппарова³, Г.Б. Абдикеримова², P. Schmidt⁴

¹Esil University, Астана, Республика Казахстан;

²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан;

³Таразский университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан;

⁴Братиславский экономический университет, Словакия.

E-mail: moldir_11.92@mail.ru

Азиева Гульмира Тагибергеновна — УЧРЕЖДЕНИЯ Esil University, магистр. старший преподаватель кафедры «Информационные системы и технологии», Астана, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-7329-6768>;

Есенова Молдир Балкаировна — старший преподаватель кафедры информационных систем Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, PhD, Астана, Казахстан

E-mail: moldir_11.92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2644-0966>;

Абжаппарова Айгерим Кахармановна — Таразский университет имени М.Х. Дулати, старший преподаватель кафедры «Физика и информатика», Тараз, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-7500-9179>;

Абдикеримова Гульзира Бахытбековна — доцент кафедры информационных систем Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, PhD, Астана, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-4953-0737>;

P. Schmidt — доктор философии (PhD), профессор, заведующий кафедрой «Прикладная информатика», Братиславского экономического университета, г. Братислава, Словацкая Республика

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

© Г.Т. Азиева, М.Б. Есенова, А.К. Абжаппарова, Г.Б. Абдикеримова, P. Schmidt

Аннотация. В данном исследовании представлена двухуровневая гибридная структура стекирования для автоматической классификации сельскохозяйственных культур с использованием мультиспектральных ортомозаик, полученных с помощью БПЛА. Предложенная архитектура сочетает в себе несколько методов градиентного бустинга (LightGBM, XGBoost и CatBoost), классические ансамблевые модели

на основе деревьев (Random Forest и Extra Trees) и многослойный перцептрон на основе механизма внимания. Во время обучения оценки вероятности, полученные базовыми классификаторами, используются в качестве входных данных для метаклассификатора второго уровня Extra Trees, который выдает окончательное предсказание. Представление признаков включает исходные спектральные полосы вместе с восемью широко используемыми индексами растительности (NDVI, NDRE, GNDVI, SAVI, MSR, EVI, SIPI и MSAVI). Для каждого индекса и полосы рассчитываются статистические дескрипторы, такие как среднее значение и стандартное отклонение, для учета пространственной изменчивости внутри сегментов поля. Экспериментальная оценка проводилась на реальных мультиспектральных данных, полученных с помощью БПЛА в Восточном Казахстане. Предложенная модель достигла высокой точности классификации (приблизительно 95%) и макроусредненного F1-мерного показателя, близкого к 0,95. Кроме того, результаты пространственной сегментации всего поля продемонстрировали стабильную производительность на уровне около 99%, что указывает на высокую согласованность по всей исследуемой области. В целом, результаты показывают, что объединение гетерогенных моделей машинного обучения в рамках стековой структуры повышает устойчивость и обобщающую способность в задачах классификации сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: классификация сельскохозяйственных культур, мультиспектральные данные БПЛА, ортомозаики, вегетационные индексы, гибридный стекинг, двухуровневый ансамбль, машинное обучение, точное земледелие, пространственная сегментация, цифровое сельское хозяйство

Для цитирования: Г.Т. Азиева, М.Б. Есенова, А.К. Абжапарова, Г.Б. Абдикеримова, P. Schmidt (2026). Гибридная модель стекинга для классификации сельскохозяйственных культур по данным UAV // Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. Т. 7. No. 26. Стр. 50–61. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.26.2.004>. (На каз.).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность: Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант No AP25793889 «Разработка системы выявления болезней и вредителей сельскохозяйственных культур на основе искусственного интеллекта»)

Кіріспе.

Соңғы жылдары ұшқышсыз ұшу аппараттарына (UAV) негізделген мультиспектралды түсірілім дәл егіншілік жүйелерінде кеңінен қолданылып келеді. Бұл технология дақылдардың жай-күйін бағалауға, өсу динамикасын бақылауға және агротехникалық шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді (Shu et al., 2022; Rádua et al., 2020). Жоғары кеңістіктік рұқсатқа ие UAV-ортомозаикалары өсімдік жамылғысының құрылымдық және спектралдық ерекшеліктерін айқын көрсетеді.

Сондықтан мұндай деректер ауыл шаруашылығы дақылдарын автоматты түрде жіктеу міндетінде маңызды ақпарат көзі болып саналады (Huang et al., 2025; Deng et al., 2024). Сонымен бірге спектралдық өзгергіштік, жарықтандыру жағдайының тұрақсыздығы және бір класс ішіндегі әркелкілік классификация нәтижесіне елеулі әсер етеді (Tan et al., 2025; Zhang et al., 2023). Мультиспектралды деректерді талдауда машиналық оқыту әдістері, әсіресе ансамбльдік модельдер, өз тиімділігін көрсетіп отыр. Олар белгілер арасындағы әлсіз айырмашылықтарды дәлірек ажыратуға мүмкіндік береді (Yang et al., 2022; Li et al., 2023). Соңғы еңбектерде гибриді тәсілдер мен стекинг архитектуралары түрлі алгоритмдердің мүмкіндіктерін біріктіру арқылы модельдің тұрақтылығын арттыруға бағытталғаны атап өтіледі (Zhai et al., 2023; Miller et al., 2025). Вегетациялық индекстерді спектралдық арналардың статистикалық сипаттамаларымен бірге пайдалану өсімдіктің физиологиялық күйін неғұрлым нақты бейнелеуге ықпал етеді (Chang et al., 2025; Wang et al., 2024).

Осы алғышарттарға сүйене отырып, зерттеу мультиспектралды UAV ортомозаикалары негізінде дақылдарды жіктеуге арналған екі деңгейлі гибриді стекинг моделін қарастырады. Ұсынылған тәсіл спектралдық арналар, вегетациялық индекстер және олардың статистикалық сипаттамаларын бір жүйеге біріктіреді. Негізгі мақсат-дәлдігі жоғары әрі тәжірибеде қолдануға жарамды классификация жүйесін қалыптастыру. UAV-негізді түсірілімді ауыл шаруашылығында пайдалану фенологиялық кезеңдерді бақылау, стресс факторларын ерте анықтау және өнімділікті болжау міндеттерін тиімді шешуге мүмкіндік береді (Yang et al., 2024; Li et al., 2023). Уақыт бойынша жиналған индекстер динамикасын талдау өсімдік жамылғысының физиологиялық жағдайын жан-жақты бағалауға жағдай жасайды (Acosta et al., 2023; Qiao et al., 2022). Сонымен қатар объектіге бағытталған сегментация, ерекшелік инженериясы және алдын ала өңдеу кезеңдерінің сапалы ұйымдастырылуы жіктеу нәтижесінің тұрақтылығына әсер етеді (Deng et al., 2024; Luo et al., 2023).

Бұрын жүргізілген зерттеулердің бірқатарында деректерді өңдеу тізбегінің толық сипатталмауы немесе кросс-валидация тәсілдерінің жеткілікті ашық көрсетілмеуі байқалады (Zhang et al., 2023; Yang et al., 2022). Кей жағдайларда нәтижелер кеңістіктік деңгейде жан-жақты тексерілмейді. Мұндай жайттар әдістерді басқа өңірлерге немесе дақыл түрлеріне көшіру кезінде қиындық тудыруы мүмкін. Осы мәселені шешу мақсатында заманауи жұмыстарда стекинг-негізді гибриді ансамбльдер мен қайталанатын аналитикалық пайплайнды қолдану ұсынылады. Әртүрлі модельдердің ықтималдық болжамдарын біріктіру тәсілі жалпылау қабілетін арттырып, мультиспектралды деректердегі күрделі байланыстарды неғұрлым нақты сипаттауға мүмкіндік береді (Zhai et al., 2023; Miller et al., 2025).

Әдістер мен материалдар.

Зерттеу жұмысы Қазақстанның шығыс өңіріндегі 27 гектарлық тәжірибелік алқапта жиналған мультиспектралды UAV деректері негізінде жүргізілді. Дереккөз ретінде Zenodo платформасында ашық қолжетімділігі бар деректер жиыны пайдаланылды, онда алқап учаскелері бидай, арпа және соя дақылдарына бөлінген. 2022 жылғы вегетациялық маусым барысында DJI Phantom 4 Multispectral ұшу аппараты

көмегімен бес рет әуежіктеу түсірілімдері орындалды. Нәтижесінде Blue, Green, Red, RedEdge және NIR спектралдық арналары бар жоғары кеңістіктік рұқсаттағы (шамамен 3 см/пиксель) геореференцияланған ортомозаикалар GeoTIFF форматында алынды. Бұл деректер дақылдардың спектралдық-гетерогенді құрылымын талдауға және автоматтандырылған классификация үшін белгілік ақпарат алуға мүмкіндік берді. Ортомозаикалар Python ортасында өңделіп, rasterio және GDAL кітапханалары арқылы көпарналы матрицаларға түрлендірілді. Бейнелер 64×64 пиксель өлшемді қабаттасатын терезелерге бөлінді, ал қадам шамасы 32 пиксельді құрады. Мұндай патчка негізделген тәсіл деректер көлемін ұлғайтуға және жергілікті кеңістіктік-спектралдық өзгергіштікті ескеруге мүмкіндік берді.

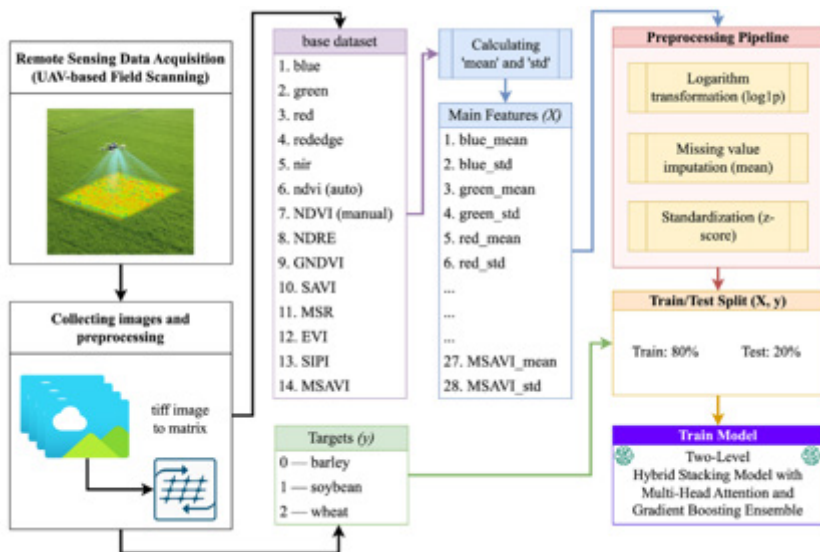
Спектралдық арналарының негізінде сегіз вегетациялық индекс-NDVI, NDRE, GNDVI, SAVI, MSR, EVI, SIPI және MSAVI қайта есептелді. Олар өсімдіктердің физиологиялық жай-күйін, хлорофилл мөлшерін, жапырақ құрылымын, биомасса мен топырақ әсерін сипаттайтын интегралды көрсеткіштер болып табылады. Әрбір патч үшін барлық арналары мен индекстер бойынша орташа мән (mean) және стандартты ауытқу (std) есептелді. Нәтижесінде бір патчты сипаттайтын 28 өлшемді ерекшелік векторы қалыптастырылды, ол әрі қарай машиналық оқыту моделін оқыту кезеңінде қолданылды. Ерекшеліктерді тұрақтандыру мақсатында көпқадамды алдын ала өңдеу жүргізілді: log1p-түрлендіру деректердің қисаюын азайту үшін қолданылды, бос мәндер орташа мағыналармен импутацияланды, ал z-score стандарттау барлық белгілерді бір шкалаға келтіріп, модельдердің тұрақтылығын арттырды.

Деректер жиыны 80 %-оқыту және 20 %-тест бөліктеріне стратификацияны сақтай отырып бөлінді. Кластардың тең ұсынылуын қамтамасыз ету үшін Stratified K-Fold кросс-валидациясы ($k=4$) қолданылды. Бірінші деңгейде LightGBM, XGBoost, CatBoost, RandomForest, ExtraTrees және Attention-MLP базалық модельдері оқытылып, олардың out-of-fold ықтималдық болжамдары жинақталды. Бұл болжамдар екінші деңгейде ExtraTreesClassifier метамоделі арқылы біріктіріліп, гибридті екі деңгейлі стекинг архитектурасы қалыптастырылды. Мұндай тәсіл әртүрлі модельдердің толықтырушы қасиеттерін біріктіріп, жалпылау қабілетін күшейтті және спектралдық деректердегі күрделі байланыстарды неғұрлым сенімді сипаттауға мүмкіндік берді.

Модель өнімділігі Accuracy, macro-F1, LogLoss, R^2 , MSE, RMSE және MAE метрикалары бойынша бағаланды. Сонымен бірге алынған патч-деңгейлік болжамдар ортомозаикалардың кеңістіктік құрылымына қайта жинақталып, пиксельдік деңгейде дақыл карталары қалыптастырылды. Геореференция сақталған сегментация нәтижелері визуалды түрде талданып, егіс алқаптарының картографиялық интерпретациясы жүргізілді. Бұл тәсіл модельдің тек классификация дәлдігін ғана емес, сондай-ақ кеңістіктік үйлесімділігі мен практикалық қолданбалы маңызын бағалауға мүмкіндік берді.

Бұл зерттеуде UAV-ортмозаикаларынан алынған мультиспектралды деректер негізінде ауыл шаруашылығы дақылдарын жіктеуге арналған толық талдау

пайплайны әзірленді. Пайплайн деректерді жинау, алдын ала өңдеу, спектралдық арналары мен вегетациялық индекстерден статистикалық белгілерді есептеу, оларды қалыпқа келтіру және екі деңгейлі гибриді стейкинг-моделін оқыту кезеңдерін қамтиды. 1-суретте ұсынылған схема зерттеу барысында қолданылған деректер ағынын, ерекшеліктерді қалыптастыру логикасын және классификация моделінің құрылымдық архитектурасын кезең-кезеңімен көрсетеді.



Сур. 1. UAV мультиспектралды деректер негізінде дақылдарды жіктеуге арналған деректерді өңдеу және гибриді стейкинг-моделі бар талдау пайплайны

Сурет 1-де көрсетілгендей, ұсынылған тәсіл спектралдық арналары мен вегетациялық индекстердің орташа мәні мен стандартты ауытқуын біріктіретін 28 өлшемді ерекшелік векторын қалыптастыруға негізделеді. Алынған белгілер \log -түрлендіру, импутация және стандарттау арқылы қалыпқа келтіріліп, кейін екі деңгейлі стейкинг-моделіне беріледі. Мұндай архитектура базалық модельдердің болжамдарын біріктіру арқылы жалпылау қабілетін арттырып, мультиспектралды деректердегі спектралдық-гетерогенділікті тиімді есепке алуға мүмкіндік береді. Нәтижесінде ұсынылған пайплайн дақылдарды автоматты түрде жіктеу міндетінде жоғары дәлдік пен тұрақтылықты қамтамасыз етеді.

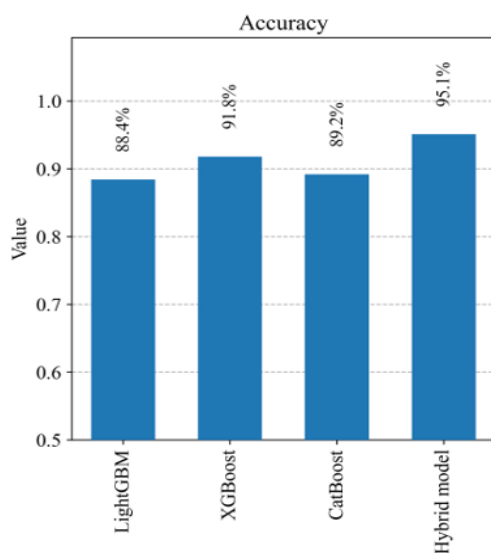
Нәтижелер және оларды талқылау.

Зерттеу барысында ұсынылған екі деңгейлі гибриді стейкинг-моделі мультиспектралды UAV ортомозаикалары негізінде ауыл шаруашылығы дақылдарын жіктеу міндетінде жоғары нәтижелер көрсетті. Эксперименттік тексеріс барысында модельдің жалпы дәлдігі шамамен 95 %, ал макро-F1 көрсеткіші 0,95 деңгейінде анықталды. Бұл мәндер жеке бустингтік алгоритмдермен (LightGBM, XGBoost, CatBoost) салыстырғанда айтарлықтай жоғары болып шықты, яғни стейкинг архитектурасының әртүрлі модельдердің болжамдарын біріктіру арқылы жалпылау қабілетін күшейтетіні расталды. Сонымен қатар LogLoss, MSE және RMSE мәндерінің

төмендеуі модельдің ықтималдық болжамдарына сенімділіктің артқанын көрсетеді, ал R^2 шамасының көтерілуі сыныптарды ажыратудағы тұрақты корреляциялық тәуелділікті дәлелдейді. Бұл нәтиже гибриді ансамбльдік тәсілдің спектралдық-гетерогенді деректермен жұмыс істеуде тиімді екенін көрсетеді.

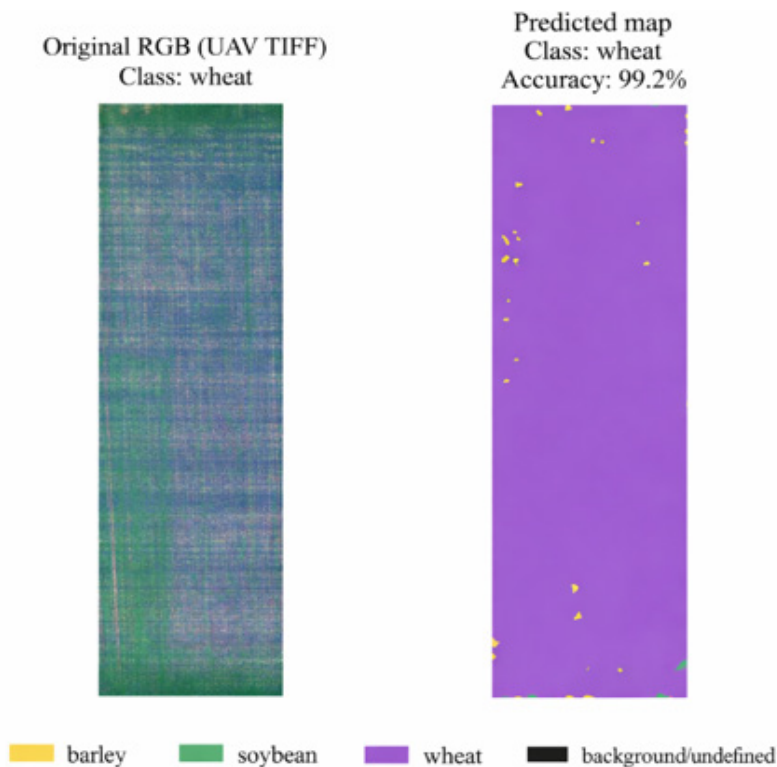
Зерттеу аясында вегетациялық индекстердің маусымдық динамикасын талдау да жүргізілді. NDVI, GNDVI, SAVI, MSR және MSAVI индекстері соя үшін жоғары мәндер көрсетіп, оның қарқынды биомасса жинақтауы мен белсенді фотосинтездік қызметін сипаттады, ал арпа мен бидай үшін көрсеткіштер салыстырмалы түрде төмен және тұрақты диапазонда сақталды. NDRE және SIPI индекстері өсімдік жапырақ құрылымындағы және пигменттік құрамындағы айырмашылықтарды анық көрсетті, әсіресе фенологиялық кезеңдерде сыныптардың ажыратылуын күшейтті. Бұл нәтижелер вегетациялық индекстердің статистикалық дескрипторларын (орташа мән және стандартты ауытқу) бірге пайдалану дақылдар ішіндегі гетерогенділікті дәлірек бейнелеуге мүмкіндік беретінін дәлелдейді. Сонымен қатар индекстердің маусымдық трендтері модель өнімділігін арттыратын маңызды қосымша ақпарат көзі болатынын көрсетті.

Ұсынылған тәсілдің практикалық құндылығы кеңістіктік сегментация нәтижелерінде анық көрінді. Патч деңгейінде алынған болжамдар пиксельдік картаға қайта жинақталғаннан кейін егіс алқаптары жоғары дәлдікпен қалпына келтірілді, ал жекелеген учаскелер үшін сегментация дәлдігі $\approx 99\%$ деңгейіне жетті (Сурет 2). Қателіктер негізінен алқап шеттері мен спектралдық ауытқуы жоғары локалды аймақтарда байқалды, алайда олардың ықпалы жалпы картаның құрылымына айтарлықтай әсер етпеді. Мұндай нәтижелер модельді агрономиялық мониторинг, егістік құрылымын талдау және дақыл карталарын автоматты құру процестерінде қолдануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар геореференцияның сақталуы модель нәтижелерін ГАЗ жүйелеріне тікелей енгізуге жағдай жасайды.



Сур. 2. Жеке бустингтік модельдер мен гибриді стекинг-модельдің классификация дәлдігін салыстыру

Бұл 3-суретте бидай дақылы егілген алқапқа арналған кеңістіктік сегментация нәтижесі көрсетілген. Сол жақтағы бейне-UAV арқылы алынған бастапқы RGB ортомозаика, ал оң жақтағы карта-ұсынылған гибриді стекинг-моделі негізінде қалыптастырылған болжам нәтижесі. Картада бидай сыныбы (күлгін түспен) басым аймақ ретінде дұрыс анықталған, ал қателіктер негізінен алқаптың шеткі бөліктерінде және локалды гетерогенді аймақтарда байқалады. Жалпы сегментация дәлдігі $\approx 99,2\%$ деңгейінде, бұл модельдің кеңістіктік тұрақтылығы жоғары екенін және дақыл карталарын автоматты түрде құру міндетінде практикалық тұрғыдан қолдануға жарамды екенін дәлелдейді.



Сур. 3. Бидай алқабының кеңістіктік сегментациясы: бастапқы UAV RGB ортомозаикасы және гибриді модельдің болжамды картасы

Жалпы алғанда, зерттеу қорытындылары гибриді стекинг-моделінің мульти-спектралды UAV деректері негізінде дақылдарды жіктеу міндетінде жоғары нақтылық пен тұрақтылықты қамтамасыз ететінін көрсетті. Модель спектралдық арналары мен вегетациялық индекстердің статистикалық сипаттамаларын кешенді пайдаланудың нәтижесінде сыныптар арасындағы әлсіз спектралдық айырмашылықтарды сенімді ажырата алды. Сонымен бірге алынған тәжірибелік нәтижелер индекстер динамикасының фенологиялық талдаумен байланысын айқындап, дәл егіншілік жүйелерінде ерте диагностика мен егістік жағдайын жедел бағалау үшін ғылыми және қолданбалық тұрғыдан маңызды негіз қалыптастырды.

Қорытынды.

Бұл жұмыста мультиспектралды UAV ортомозаикалары негізінде ауыл шаруашылығы дақылдарын автоматты жіктеуге арналған екі деңгейлі гибридті стекинг тәсілі қарастырылды. Ұсынылған модельдің тиімділігі тәжірибелік деректер арқылы бағаланды. Ерекшелік кеңістігі спектралдық арналар мен вегетациялық индекстердің (орташа мәні және стандартты ауытқуы) сипаттамаларын біріктіретін 28 өлшемді векторға негізделді. Мұндай тәсіл дақылдардың спектралдық және физиологиялық айырмашылықтарын кешенді түрде ескеруге мүмкіндік берді. Эксперимент нәтижелері гибридті модельдің жеке бустинг алгоритмдеріне қарағанда тұрақты әрі жоғары нәтиже көрсеткенін аңғартты. Жалпы жіктеу дәлдігі шамамен 95 % деңгейінде болды, ал кеңістіктік сегментация кезінде алынған нәтиже ≈ 99 % шамасында сақталды. Бұл әртүрлі модельдердің болжамдарын біріктіру жалпылау қабілетін күшейтетінін және спектралдық әрқелкі деректер жағдайында тиімді жұмыс істеуге мүмкіндік беретінін көрсетеді. Вегетациялық индекстердің маусымдық өзгерісін есепке алу дақылдарды ажырату сапасына оң әсер етті. Индекстердің орташа мәнін олардың өзгергіштігімен бірге пайдалану фенологиялық кезеңдер мен өсімдіктер күйіндегі айырмашылықтарды дәлірек сипаттауға жағдай жасады. Алынған кеңістіктік нәтижелер бұл тәсілді агрономиялық мониторингте, егістік құрылымын картаға түсіруде және дәл егіншілікке арналған шешімдерді қолдау жүйелерінде қолдануға болатынын көрсетті.

Сонымен қатар зерттеудің белгілі бір шектеулері бар. Модель бір өңірдегі үш дақылға қатысты деректер негізінде тексерілді, сондықтан оны өзге агроклиматтық жағдайларда қолдану қосымша бейімдеуді талап етуі мүмкін. Бұдан бөлек, зерттеу статикалық суреттермен шектелді; уақыттық қатарларды енгізу фенологиялық процестерді тереңірек талдауға мүмкіндік береді. Алдағы жұмыстарда ауа райы, топырақ және рельеф сияқты қосымша деректерді біріктіру, уақыттық динамиканы ескеру және модельдің түсіндірмелілігін арттыру жоспарлануда. Жалпы алғанда, ұсынылған гибридті стекинг тәсілі мультиспектралды UAV деректеріне сүйенген дақылдарды жіктеу міндетінде жоғары дәлдік пен тұрақтылық көрсетті. Бұл әдістің цифрлық ауыл шаруашылығы және дәл егіншілік саласында практикалық қолдану әлеуеті бар.

REFERENCES

- Acosta, M., Visconti, F., Quiñones, A., Blasco, J., de Paz, J.M. (2023). Estimation of Macro and Micronutrients in Persimmon Leaves through VIS-NIR Reflectance Spectroscopy // *Agronomy*. — Vol. 13. — No. 4. Pp. 1105. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13041105>. [in Eng.]
- Chang, B., Li, F., Hu, Y., Yin, H., Feng, Z., Zhao, L. (2025). Application of UAV Remote Sensing for Vegetation Identification: A Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Plant Science*. — Vol. 16. — Article 1452053. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1452053>. [in Eng.]
- Deng, H., Zhang, W., Zheng, X., Zhang, H. Crop Classification Combining Object-Oriented Method and Random Forest Model Using UAV Multispectral Image // *Agriculture*. — Vol. 14. — No. 4. Pp. 548. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture14040548>. [in Eng.]
- Huang, D., Hong, Y., Li, J. (2025). Integrating UAV-Based Remote Sensing and Machine Learning to Monitor Rice Growth in Large-Scale Fields // *Field Crops Research*. — Vol. 8. — Pp. 1–12. [in Eng.]
- Li, Z., Zhou, X., Cheng, Q., Fei, S., Chen, Z. (2023). A Machine-Learning Model Based on the Fusion of Spectral and Textural Features from UAV Multi-Sensors to Analyse the Total Nitrogen Content in Winter Wheat. *Remote Sensing*. — Vol. 15. — No. 8. Pp. 2152. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15082152>. [in Eng.]
- Luo, C., Li, H., Zhang, J., Wang, Y. (2023). OBViT: A High-Resolution Remote Sensing Crop Classification Model Combining OBIA and Vision Transformer. In: *Proceedings of the 11th International Conference on Agro-Geoinformatics*;



- IEEE: New York, USA. Pp. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/Agro-Geoinformatics59224.2023.10233321>. [in Eng.]
- Miller, T., Mikiciuk, G., Durlik, I., Mikiciuk, M., Łobodzińska, A., Śnieg, M. (2025). The IoT and AI in Agriculture: The Time Is Now // A Systematic Review of Smart Sensing Technologies. *Sensors*. — Vol. 25. — No. 12. Pp. 3583. DOI: <https://doi.org/10.3390/s25123583>. [in Eng.]
- Pádua, L., Marques, P., Martins, L., Sousa, A., Peres, E., Sousa, J.J. (2020). Monitoring of Chestnut Trees Using Machine Learning Techniques Applied to UAV-Based Multispectral Data // *Remote Sensing*. — Vol. 12. — No. 18. Pp. 3032. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12183032>. [in Eng.]
- Qiao, L., Tang, W., Gao, D., Zhao, R., An, L., Li, M., Song, D. (2022). UAV-Based Chlorophyll Content Estimation by Evaluating Vegetation Index Responses under Different Crop Coverages // *Computers and Electronics in Agriculture*. — Vol. 196. — Article 106775. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106775>. [in Eng.]
- Shu, M., Fei, S., Zhang, B., Yang, X., Guo, Y., Li, B., Ma, Y. (2022). Application of UAV Multisensor Data and Ensemble Approach for High-Throughput Estimation of Maize Phenotyping Traits // *Plant Phenomics*. Article ID 9802585. DOI: <https://doi.org/10.34133/2022/9802585>. [in Eng.]
- Tan, J., Ding, J., Li, J., Han, L., Cui, K., Li, Y., Zhang, Z. (2025). Advanced Dynamic Monitoring and Precision Analysis of Soil Salinity in Cotton Fields Using CNN-Attention and UAV Multispectral Imaging Integration // *Land Degradation & Development*. — Vol. 36. — No. 4. Pp. 5578–5595. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.5578>. [in Eng.]
- Wang, J., Wang, Y., Li, G., Qi, Z. (2024). Integration of Remote Sensing and Machine Learning for Precision Agriculture: A Comprehensive Perspective on Applications // *Agronomy*. — Vol. 14. — No. 9. Pp. 1975. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14091975>. [in Eng.]
- Yang, H., Hu, Y., Zheng, Z., Qiao, Y., Zhang, K., Guo, T., Chen, J. (2022). Estimation of Potato Chlorophyll Content from UAV Multispectral Images with Stacking Ensemble Algorithm // *Agronomy*. — Vol. 12. — No. 10. Pp. 2318. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12102318>. [in Eng.]
- Zhai, W., Li, C., Cheng, Q., Ding, F., Chen, Z. (2023). Exploring Multisource Feature Fusion and Stacking Ensemble Learning for Accurate Estimation of Maize Chlorophyll Content Using UAV Remote Sensing // *Remote Sensing*. — Vol. 15. — No. 13. Pp. 3454. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15133454>. [in Eng.]
- Zhang, Y., Fu, B., Sun, X., Yao, H., Zhang, S., Wu, Y., Deng, T. (2023). Effects of Multi-Growth-Periods UAV Images on Classifying Karst Wetland Vegetation Communities Using Object-Based Optimization Stacking Algorithm // *Remote Sensing*. — Vol. 15. — No. 16. Pp. 4003. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15164003>. [in Eng.]

**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND
COMMUNICATION TECHNOLOGIES**

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ
ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Собственник:

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

Главный редактор:

Колесникова Катерина Викторовна

Ответственный редактор:

Мрзабаева Раушан Жалиевна

Компьютерная верстка:

Калабай Замзагуль Ертугановна

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

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Подписано в печать 30.06.2026.

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