

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE**

№2

2026

ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)



CENTRAL ASIAN ACADEMIC
RESEARCH CENTER



**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF COMPUTER
SCIENCE**

2 (358)

APRIL – JUNE 2026

**PUBLISHED SINCE JANUARY 1963
PUBLISHED 4 TIMES A YEAR**

ALMATY, NAS RK

Chief Editor:

MUTANOV Galimkair Mutanovich, doctor of technical sciences, professor, academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

EDITORIAL BOARD:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Advisor to the General Director of the Institute of Information and Computing Technologies of the CS MES RK, Head of the Laboratory (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

MAMYRBAEV Orken Zhumazhanovich, (Academic Secretary), PhD in Information Systems, Deputy Director for Science of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027>

BAIGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Institute of Cybernetics and Information Technologies, Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423>

WOICIK Waldemar, Doctor of Technical Sciences (Phys.-Math.), Professor of the Lublin University of Technology (Lublin, Poland), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586>

SMOLARJ Andrej, Associate Professor Faculty of Electronics, Lublin polytechnic university (Lublin, Poland), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56249263000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523>

KEILAN Alimkhan, Doctor of Technical Sciences, Professor (Doctor of science (Japan)), chief researcher of Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8701101900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451>

KHAIROVA Nina, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37461441200>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515>

OTMAN Mohamed, PhD, Professor of Computer Science Department of Communication Technology and Networks, Putra University Malaysia (Selangor, Malaysia), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56036884700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649>

NYSANBAYEVA Saule Yerkebulanovna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

USATOVA Olga Alexandrovna, PhD, Associate Professor, Chief Scientific Secretary of the Institute of Information and Computing Technologies of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204581062>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/JCO-3058-2023>

KAPALOVA Nursulu Aldazharovna, Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory cybersecurity, Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191242124>,

KOVALYOV Alexander Mikhailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Donetsk, Ukraine), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396>

MIKHALEVICH Alexander Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Belarus), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004159952>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977>

TIGHINEANU Ion Mihailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician, President of the Academy of Sciences of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

Academic Scientific Journal of Computer Science

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Owner: «Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty).

Certificate № **KZ77VPY00121154** on the re-registration of the periodical printed and online publication of the information agency, issued on **05.06.2025** by the Republican State Institution «Information Committee» of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan

Subject area: *information and communication technologies*.

Currently: *included in the list of journals recommended by the CCSES MSHE RK in the direction of «Information and communication technologies».*

Periodicity: *4 times a year.*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© «Central Asian Academic Research Center» LLP, 2026

БАС РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

КАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы, (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының кеңесшісі, зертхана меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

МАМЫРБАЕВ Өркен Жұмажанұлы (ғалым хатшы), Ақпараттық жүйелер саласындағы техника ғылымдарының (PhD) докторы, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» директорының ғылым жөніндегі орынбасары (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027>

БАЙГУНЧЕКОВ Жұмаділ Жаңабайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы, Сәтбаев университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423>

ВОЙЧИК Вальдемар, техника ғылымдарының докторы (физ-мат), Люблин технологиялық университетінің профессоры (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586>

СМОЛАРЖ Анджей, Люблин политехникалық университетінің электроника факультетінің доценті (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56249263000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523>

КЕЙЛАН Әлімхан, техника ғылымдарының докторы, профессор (ғылым докторы (Жапония)), ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8701101900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451>

ХАЙРОВА Нина, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37461441200>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515>

ОТМАН Мохаммед, PhD, Информатика, Коммуникациялық технологиялар және желілер кафедрасының профессоры, Путра университеті Малайзия (Селангор, Малайзия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56036884700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649>

НЫСАНБАЕВА Сауле Еркебұланқызы, техника ғылымдарының докторы, доцент, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» аға ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

УСАТОВА Ольга Александровна, PhD, қауымдастырылған профессор, ҚР ҒЖБМ "Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының" бас ғалым хатшысы (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204581062>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/JCO-3058-2023>

КАПАЛОВА Нұрсұлу Алдажарқызы, техника ғылымдарының кандидаты, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты», Киберқауіпсіздік зертханасының меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191242124>,

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина Ұлттық Ғылым академиясының академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396>

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, техника ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь Ұлттық Ғылым академиясының академигі (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004159952>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977>

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

Academic Scientific Journal of Computer Science

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктеуші: «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС (Алматы).

Ақпарат агенттігінің мерзімді баспасөз басылымын, ақпарат агенттігін және желілік басылымды қайта есепке қою туралы ҚР Мәдениет және Ақпарат министрлігі «Ақпарат комитеті» Республикалық мемлекеттік мекемесі **05.06.2025** ж. берген № **KZ77VPY00121154** Куәлік.

Тақырыптық бағыты: *ақпараттық-коммуникациялық технологиялар*

Қазіргі уақытта: *«ақпараттық-коммуникациялық технологиялар» бағыты бойынша ҚР БҒМ БҒСБК ұсынған журналдар тізіміне енді.*

Мерзімділігі: *жылына 4 рет.*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС, 2026

Главный редактор:

МУТАНОВ Галимканр Мутанович, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

Редакционная коллегия:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, советник генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК, заведующий лабораторией (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

МАМЫРБАЕВ Оркен Жумажанович, (ученый секретарь), доктор философии (PhD) по специальности «Информационные системы», заместитель директора по науке РГП «Институт информационных и вычислительных технологий» Комитета науки МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=55967630400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027>

БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, Университет Сагпаева (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=6506823633>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423>

ВОЙЧИК Вальдемар, доктор технических наук (физ.-мат.), профессор Люблинского технологического университета (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7005121594>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586>

СМОЛАРЖ Анджей, доцент факультета электроники Люблинского политехнического университета (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=56249263000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523>

КЕЙЛАН Алимхан, доктор технических наук, профессор (Doctor of science (Japan)), главный научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=8701101900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451>

ХАЙРОВА Нина, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=37461441200>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515>

ОТМАН Мохамед, доктор философии, профессор компьютерных наук, Департамент коммуникационных технологий и сетей, Университет Путра Малайзия (Селангор, Малайзия), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=56036884700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649>

НЫСАНБАЕВА Сауле Еркебулановна, доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

УСАТОВА Ольга Александровна, PhD, ассоциированный профессор, Главный ученый секретарь «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=57204581062>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/JCO-3058-2023>

КАПАЛОВА Нурсулу Алдажаровна, кандидат технических наук, заведующий лабораторией кибербезопасности РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=57191242124>,

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396>

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7004159952>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977>

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

Academic Scientific Journal of Computer Science

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: *ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр» (г. Алматы).*

Свидетельство о постановке на переучет периодического печатного издания, информационного агентства и сетевого издания № **KZ77VRY00121154**. Дата выдачи **05.06.2025**

Тематическая направленность: *информационно-коммуникационные технологии.*

В настоящее время: *вошел в список журналов, рекомендованных КОКШВО МНВО РК по направлению «информационно-коммуникационные технологии».*

Периодичность: *4 раза в год.*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр», 2026

CONTENTS

COMPUTER SCIENCE

Abduraimova B.K., Toleukhan A.B., Sapakova S.Z., Abisheva A.A. Development of early cyberattack detection method using CNN-LSTM for IoT.....	11
Aben A.B., Kazbekova G.N., Baimakhanova A.S., Amanzholova A.B. Classification of birds and drones in the sky using MobileNetV2 model.....	30
Akbarov D., Sembayev T. Quality-aware pose–hand keypoint extraction pipeline for skeleton-based sign language recognition.....	44
Algazy K., Alimzhan Y., Sakan K., Nyssanbayeva S. Lattice-based vector commitments for Verkle trees.....	67
Asylkhan N., Baidrakhmanova M.G. Principles and models of spatial organization of buildings for crop production considering technological and climatic factors.....	87
Basheyeva Zh., Tokesh A., Bekish U., Abdoldinova G. Artificial intelligence for academic project management: a bibliometric analysis and systematic review.....	105
Bekmanova G., Kantureyeva M., Omarbekova A., Zakirova A., Issainova A. Integrating artificial intelligence to evaluate emotions in the learning environment.....	125
Dzhusupbekova G.T., Jangassiyev R.M. Gemini AI integration based on .NET MAUI for education: hybrid architecture and empirical load testing.....	146
Doszhan N.S., Sultanbekova L.Ye., Zhumagali S.Zh., Konysbayev E.K. Modeling and parameter calculation of an emergency response system based on LoRaWAN technology in the high-altitude conditions of the Zailiysky Alatau.....	166
Zhumakhanova A., Kudabayeva R., Akanova K., Myrkanova A. Entropy-normalized multidimensional model for user activity segmentation in Reddit...	180
Karabaliyev Y., Kolesnikova K., Khlevnaya Y. HybridKazASR: a hybrid automatic speech recognition system combining multi-model rover fusion and morpheme-aware language modeling for Kazakh.....	198
Kerimkhulle S.E., Adalbek A., Baizakov N.A., Shodorova N.N. Piecewise logistic and fuzzy modeling of Kazakhstan's GDP dynamics (1990–2024)....	212
Kulakayeva A., Ashurov A., Aitmagambetov A., Ongenbayeva Zh. Development of mathematical models and criteria for the admissibility of orbital maneuvers of spacecraft.....	228

Kulatay A.A., Zhaisanova D.S., Daurenbayeva N.A., Mamanova S.Y., Tolegen M. Machine learning for personalized learning in gamified edtech platforms: Aqyl Battle case.....	248
Mamyrbayev O., Kurmetkan T. Enhanced sentiment analysis of e-commerce product reviews using Luong attention-based Bi-LSTM.....	263
Marassulov U.A., Kazbekova G. TF-IDF-based fake news detection in Kazakh and Russian.....	286
Omar A.B., Mussiraliyeva Sh.Zh. Federated learning: models based on transformer architecture.....	302
Rakhimova D., Duisenbekkyzy Zh., Karibayeva A., Eşref A., Ilessova B. Improving the voice recognition system for children in Kazakh through additional training (fine-tuning).....	317
Sarsembayev M, Urmashev B. Optimization of the calculation of kinetic equations of combustion processes on GPU using global memory and shared memory.....	335
Symagulov A., Smurygin V., Belousov A., Karypov A., Yunicheva N.R. Improving the accuracy of crop and weed detection using UAVs in soya fields through image segmentation.....	347
Tashenova Zh., Gabdullin A.R., Abdugulova Zh., Amanzholova Sh., Santeyeva S. Security evaluation of WPA3 wireless networks under deauthentication attack scenarios.....	368
Tursunbayeva G.U., Satybalдина D.Zh., Tleuberdin S.T., Tashatov N.N., Egamberdiyev E.E. Anomaly detection in UAV telemetry systems based on simulation modeling.....	391
Tursynova N., Yerimbetova A., Amangeldy N., Zhumabayeva A., Daiyrbayeva E. Comparative analysis of multilingual transformer models for Kazakh-to-gloss translation.....	414
Shangpeng Lei, Balakayeva G. Dual-branch physical information neural networks for data center airflow velocity and thermal modeling.....	433
Shynzhigit B.B., Balabekova M.O., Amangeldy T.T., Malik G.J., Balgimbekova U.B. Automatic brick defects detection by using a CNN-based deep learning model.....	449

МАЗМҰНЫ

КОМПЬЮТЕРЛІК ҒЫЛЫМДАР

Абдураимова Б.К., Төлеухан Ә.Б., Сапакова С.З., Абишева А.А. Кибершабулдарды ерте анықтау әдісін CNN-LSTM негізінде дамыту (IoT үшін).....	11
Абен А.Б., Қазбекова Г.Н., Баймаханова А.С., Аманжолова Ә.Б. MobileNetV2 моделімен аспандағы құстар мен дрондарды классификациялау.....	30
Ақбаров Д.Р., Сембаев Т.М. Ым тілін тануға арналған дене қалпы мен қолдың негізгі нүктелерін сапаны бақылаумен анықтау әдісі.....	44
Алғазы К.Т., Әлімжан Е.Ж., Сақан Қ.С., Нысанбаева С.Е. Verkle ағаштарына арналған торлық векторлық міндеттемелер.....	67
Асылхан Н., Байдрахманова М.Г. Технологиялық және климаттық факторларды ескере отырып, өсімдік шаруашылығы ғимараттарының кеңістік ұйымдастыру қағидалары мен модельдері.....	87
Башеева Ж., Төкеш Ә., Бекіш Ұ., Абдолдинова Г. Академиялық жобаларды басқарудағы жасанды интеллект: библиометриялық талдау және жүйелі шолу.....	105
Бекманова Г.Т., Кантурсева М.А., Омарбекова А.С., Закирова А.Б., Исайнова А.Н. Оқу ортасындағы эмоцияларды бағалау үшін жасанды интеллектті біріктіру.....	125
Джусупбекова Г.Т., Жангасиев Р.М. Білім беруге арналған .NET MAUI негізіндегі Gemini AI интеграциясы: гибриді архитектуралық және эмпирикалық жүктемелік тестілеу.....	146
Досжан Н.С., Султанбекова Л.Е., Жумағали С.Ж., Қонысбаев Е.К. Іле Алатауының биік таулы жағдайында LORAWAN технологиясы негізіндегі жедел әрекет ету жүйесінің параметрлерін модельдеу және есептеу.....	166
Жумаханова А., Қудабаева Р., Ақанова К., Мырқанова А. REDDIT-те пайдаланушы әрекетін сегменттеуге арналған энтропия-нормалданған көп өлшемді модель.....	180
Қарабадиев Е., Колесникова К., Хлевная Ю. HybridKazASR: Rover көпмодельді біріктіру және морфемеге негізделген тілдік модельдеуді пайдаланатын қазақ тілін автоматты тану гибриді жүйесі.....	198
Керімқұл С.Е., Адалбек А., Байзақов Н.А., Шодорова Н.Н. Қазақстан ЖІӨ динамикасын кезеңдік (Piecewise) логистикалық және бұлдыр модельдеу (1990–2024).....	212

Кулакаева А.Е., Ашуrow А.Е., Айтмағамбетов А.З., Онгенбаева Ж.Ж. Ғарыш аппараттарының орбиталық маневрлерінің математикалық модельдері мен рұқсат критерийлерін әзірлеу.....	228
Құлатай А.А., Жайсанова Д.С., Дауренбаева Н.А., Маманова С.Е., Төлеген М. Геймификацияланған edtech платформаларда оқытуды жекелендіруге арналған машиналық.....	248
Мамырбаев Ө.Ж., Құрметқан Т. Луонг назар механизміне негізделген BI-LSTM көмегімен электрондық коммерция өнімдеріне жазылған пікірлерге жетілдірілген сентименттік талдау жасау.....	263
Марасулов У.А., Казбекова Г. Қазақ және орыс тілдеріндегі жалған жаңалықтарды TF-IDF арқылы анықтау.....	286
Омар А.Б., Мусиралиева Ш.Ж. Федеративті оқыту: трансформер архитектурасына негізделген модельдер.....	302
Рахимова Д., Дүйсенбекқызы Ж., Кәрібаева А., Ешref А., Ілесова Б. Қазақ тіліндегі балалар дауысын тану жүйесін қосымша оқыту (Fine-Tuning) арқылы жетілдіру.....	317
Сарсембаев М., Урмашев Б. Global memory және shared memory қолдану арқылы GPU-да жану процестерінің кинетикалық теңдеулерін есептеуді оңтайландыру.....	335
Сымагулов А., Смурыгин В., Белоусов А., Карыпов А., Юничева Н.Р. Соя алқаптарында ҰҰА көмегімен мәдени және арамшөп өсімдіктерін детекттеу сапасын кескіндерді сегменттеу арқылы арттыру.....	347
Ташенова Ж.М., Габдуллин А.Р., Абдугулова Ж.К., Аманжолова Ш.А., Сантеева С.Ә. Деатентификациялау шабуылы сценарийлеріндегі WPA3 сымсыз желілерінің қауіпсіздігін бағалау.....	368
Турсунбаева Г., Сатыбалдина Д., Глеубердин С., Ташатов Н., Эгамбердиев Э. Симуляциялық модельдеу негізінде ұшқышсыз ұшу аппараттарының телеметриялық жүйелеріндегі аномалияларды анықтау.....	391
Турсынова Н., Еримбетова А., Амангелді Н., Жумабаева А., Дайырбаева Э. Қазақ тілінен глосска аудару үшін көптілді трансформерлік модельдердің салыстырмалы талдауы.....	414
Шанпэн Лей, Балакаева Г. Деректер орталығының ауа ағынының жылдамдығына және термиялық модельдеуге арналған екі тармақты физикалық ақпараттық нейрондық желілер.....	433
Шынжігіт Ш.Б., Балабекова М.О., Амангелді Т.Т., Мәлік Г.Ж., Балгимбекова У.Б. Кіріш ақауларын автоматты анықтауда snn негізіндегі терең оқыту моделін пайдалану.....	449

СОДЕРЖАНИЕ

КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ

Абдураимова Б.К., Толеухан А.Б., Сапакова С.З., Абишева А.А. Разработка метода раннего обнаружения кибератак на основе CNN-LSTM для IoT.....	11
Абен А.Б., Казбекова Г.Н., Баймаханова А.С., Аманжолова А.Б. Классификация птиц и дронов в небе с использованием модели MobileNetV2.....	30
Акбаров Д.Р., Сембаев Т.М. Метод получения ключевых точек позы и кистей с контролем качества для распознавания жестового языка.....	44
Алгазы К.Т., Алимжан Е.Ж., Сакан К.С., Нысанбаева С.Е. Решеточные векторные обязательства для Verkle-деревьев.....	67
Асылхан Н., Байдрахманова М.Г. Принципы и модели пространственной организации зданий для растениеводства с учетом технологических и климатических факторов.....	87
Башеева Ж., Токеш А., Бекиш У., Абдолдинова Г. Искусственный интеллект в управлении академическими проектами: библиометрический анализ и систематический обзор.....	105
Бекманова Г.Т., Кантуреева М.А., Омарбекова А.С., Закирова А.Б., Исайнова А.Н. Интеграция искусственного интеллекта для оценки эмоций в учебной среде.....	125
Джусупбекова Г.Т., Джангасиев Р.М. Интеграция Gemini AI на базе .NET MAUI для образования: гибридная архитектура и эмпирическое нагрузочное тестирование.....	146
Досжан Н.С., Султанбекова Л.Е., Жумагали С.Ж., Коньсбаев Е.К. Моделирование и расчет параметров системы экстренного реагирования на базе технологии LoRaWAN в условиях высокогорья Заилийского Алатау.....	166
Жумаханова А., Кудабаева Р., Аканова К., Мырканова А. Энтропийно-нормализованная многомерная модель для сегментации активности пользователей в Reddit.....	180
Карабалиев Е., Колесникова К., Хлевна Ю. HybridKazASR: гибридная система автоматического распознавания казахской речи на основе многомодельного объединения ROVER и морфемно-ориентированного языкового моделирования.....	198
Керимкулов С.Е., Адалбек А., Байзаков Н.А., Шодорова Н.Н. Кусочно-логистическое и нечеткое моделирование динамики ВВП Казахстана (1990–2024).....	212
Кулакаева А.Е., Ашуров А.Е., Айтмагамбетов А.З., Онгенбаева Ж.Ж. Разработка математических моделей и критериев допустимости орбитальных маневров космических аппаратов.....	228

Кулатай А.А., Жайсанова Д.С., Дауренбаева Н.А., Маманова С.Е., Толеген М. Машинное обучение для персонализации обучения на геймифицированных EdTech-платформах: кейс Aqyl Battle.....	248
Мамырбаев О., Курметкан Т. Усовершенствованный анализ тональности отзывов о товарах электронной коммерции с использованием Bi-LSTM на основе механизма внимания Луонга.....	263
Марасулов У.А., Казбекова Г. Выявление ложных новостей на казахском и русском языках TF-IDF-моделями.....	286
Омар А.Б., Мусиралиева Ш.Ж. Федеративное обучение: модели на основе архитектуры трансформеров.....	302
Рахимова Д., Дуйсенбеккызы Ж., Карибаева А., Еҫref А., Илесова Б. Совершенствование системы распознавания голоса детей на казахском языке путем дополнительного обучения (fine-tuning).....	317
Сарсембаев М., Урмашев Б. Оптимизация расчета кинетических уравнений процессов горения на GPU с использованием global memory и shared memory.....	335
Сымагулов А., Смургин В., Белоусов А., Карыпов А., Юничева Н.Р. Улучшение качества детектирования культурных и сорных растений с помощью БПЛА на полях сои с применением сегментации изображений.....	347
Ташенова Ж.М., Габдуллин А.Р., Абдугулова Ж.К., Аманжолова Ш.А., Сантеева С.А. Оценка безопасности беспроводных сетей WPA3 в условиях атаки с деаутентификацией.....	368
Турсунбаева Г., Сатыбалдина Д., Тлеубердин С., Ташатов Н., Эгамбердиев Э. Обнаружение аномалий в телеметрических системах БПЛА на основе симуляционного моделирования.....	391
Турсынова Н., Еримбетова А., Амангелді Н., Жумабаева А., Дайырбаева Э. Сравнительный анализ многоязычных трансформерных моделей для перевода с казахского языка на глоссированное представление.....	414
Шанпэн Лэй, Балакаева Г. Двухветвевые физически информированные нейронные сети для моделирования воздушных потоков и тепловых условий в центрах обработки данных.....	433
Шынжыгит Ш.Б., Балабекова М.О., Амангелды Т.Т., Малик Г.Ж., Балгимбекова У.Б. Использование модели глубокого обучения на основе CNN для автоматического обнаружения дефектов кирпичной кладки.....	449

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE
ISSN 1991-346X
Volume 2.
Number 358 (2026). 347–367

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.443>

IRSTI 28.23.27

UDC 004.4, 004.8, 004.6

© **Symagulov A.^{1,2}, Smurygin V.¹, Belousov A.¹, Karypov A.¹,
Yunicheva N.R.^{1,3*}, 2026.**

¹Institute of Information and Computational Technologies MSHE RK,
Almaty, Kazakhstan;

²Satbayev University (KazNITU), Almaty, Kazakhstan;

³Almaty University of Power Engineering and Telecommunications (AUPET),
Almaty, Kazakhstan.

E-mail: naduni@mail.ru

IMPROVING THE ACCURACY OF CROP AND WEED DETECTION USING UAVS IN SOYA FIELDS THROUGH IMAGE SEGMENTATION

Symagulov Adilkhan — Software Engineer, Almaty, Institute of Information and Computational Technologies MSHE RK; Satbayev University (KazNRTU), Almaty, Kazakhstan,
E-mail: asmogulove00@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9974-3215>;

Smurygin Valentin — Software Engineer, 1 Institute of Information and Computational Technologies MSHE RK, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: valentinsmurygin@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-8699-159X>;

Belousov Alexey — Software Engineer, Institute of Information and Computational Technologies MSHE RK, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: a.belousov87@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-3100-861X>;

Karypov Alpamys — Software Engineer, Institute of Information and Computational Technologies MSHE RK, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: karypov1@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-6125-3791>;

Yunicheva Nadiya — PhD, leading researcher of the Institute of High Technologies of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan; Almaty University of Power Engineering and Telecommunications (AUPET), Almaty, Kazakhstan,
E-mail: naduni@mail.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6351-34507>.

Abstract. *Relevance.* Accurate detection of crops and weeds in images acquired from unmanned aerial vehicles (UAVs) is an important prerequisite for the implementation of precision agriculture technologies and variable-rate herbicide application systems. However, the performance of detection algorithms, particularly YOLO, strongly depends on the quality and structure of the training dataset. *Purpose.* The aim of this study is to improve the quality of soybean and weed detection and localization in UAV images of soybean fields by applying image

pre-segmentation methods during the preparation of the training dataset. Methods. More than 370 RGB images of soybean fields were collected using a DJI Mavic Mini 2 UAV at altitudes ranging from 4 to 10 m. The images were annotated in YOLO format using the CVAT platform. A dataset containing soybean plants and seven weed species was developed. Two image pre-segmentation approaches were investigated: threshold segmentation using the PlantCV library and segmentation based on Bounding Boxes (Bbox). Detection was performed using the YOLOv8x model pretrained on the COCO dataset. The results were evaluated using Precision, Recall, F1-score, mAP50, and mAP50-95 metrics. Results. Computational experiments demonstrated that the Bbox segmentation approach provided the best detection performance. Compared with the original dataset, the F1-score increased from 0.64 to 0.79, while mAP50(B) increased from 0.72 to 0.90, and mAP50-95 reached 0.83. For the crop plant (soybean), a high classification performance was achieved with an F1-score of 0.97, exceeding previously reported results for soybean detection using UAV imagery. Practical significance. The proposed methodology for training dataset preparation and image pre-segmentation can be applied in the development of precision agriculture systems aimed at automatic weed detection and variable-rate herbicide application. The obtained results contribute to reducing chemical consumption and minimizing the environmental impact on agricultural fields.

Keywords: Detection, convolutional neural networks, YOLO, segmentation, precision farming, unmanned aerial vehicles, soya

For citations: Symagulov A., Smurygin V., Belousov A., Karypov A., Yunicheva N.R. Improving the accuracy of crop and weed detection using UAVs in soya fields through image segmentation. Academic Scientific Journal of Computer Science, 2026. — No.2. — P. 347-367. DOI <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.443>

© **Сымагулов А.^{1,2}, Смурыгин В.¹, Белоусов А.¹, Карыпов А.¹, Юничева Н.Р.^{1,3*}, 2026.**

¹Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан;

²Сатбаев университеті, Алматы, Қазақстан;

³Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: naduni@mail.ru

СОЯ АЛҚАПТАРЫНДА ҰҰА КӨМЕГІМЕН МӘДЕНИ ЖӘНЕ АРАМШӨП ӨСІМДІКТЕРІН ДЕТЕКТТЕУ САПАСЫН КЕСКІНДЕРДІ СЕГМЕНТТЕУ АРҚЫЛЫ АРТТЫРУ

Сымагулов Адилхан — бағдарламалық жасақтама инженері, Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты; Сатбаев университеті, Алматы, Қазақстан, E-mail: asmogulove00@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9974-3215>;

Смурыгин Валентин — бағдарламалық жасақтама инженері, Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: valentinsmurygin@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-8699-159X>;

Белоусов Алексей — бағдарламалық жасақтама инженері, Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: a.belousov87@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-3100-861X>;

Карыпов Алпамыс — бағдарламалық жасақтама инженері, Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: karypov1@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-6125-3791>;

Юничева Надия — т. ғ. к., доцент, ҚР БҒМҒК АЕТИ жетекші ғылыми қызметкері; Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: naduni@mail.ru, ORCID идентификаторы: <https://orcid.org/0000-0001-6351-3450>.

Аннотация. Өзектілігі. Өсімдіктерді детекттеу алгоритмдерінің, әсіресе YOLO алгоритмінің тиімділігі оқыту деректер жиынтығының сапасы мен құрылымына едәуір тәуелді.

Мақсаты. Зерттеудің мақсаты — оқыту деректер жиынтығын дайындау барысында кескіндерді алдын ала сегменттеу әдістерін қолдану арқылы ұшқышсыз ұшу аппараттарының (ҰҰА) көмегімен алынған соя алқаптарының суреттерінде соя мен арамшөптерді детекттеу және локализациялау сапасын арттыру. Әдістері. Зерттеу барысында DJI Mavic Mini 2 ҰҰА көмегімен 4–10 м биіктікте соя алқаптарының 370-тен астам RGB кескіні жиналды. Кескіндер CVAT сервисі арқылы YOLO форматында таңбаланды. Құрамына соя мен арамшөптердің 7 түрі кіретін деректер жиынтығы әзірленді. Кескіндерді алдын ала сегменттеудің екі тәсілі қарастырылды: PlantCV кітапханасын пайдалана отырып шектік сегменттеу және шектеуші рамкалар (Bounding Box, Bbox) бойынша сегменттеу. Детекттеу үшін COCO деректер жиынтығында алдын ала оқытылған YOLOv8x моделі қолданылды. Сапа Precision, Recall, F1-score, mAP50 және mAP50-95 метрикалары бойынша бағаланды. Нәтижелері. Жүргізілген есептеу эксперименттері Bbox-сегменттеуді қолдану детекттеудің ең жақсы нәтижелерін қамтамасыз ететінін көрсетті. Бастапқы деректер жиынтығымен салыстырғанда F1-score мәні 0,64-тен 0,79-ға дейін өсті, mAP50(B) көрсеткіші 0,72-ден 0,90-ға дейін артты, ал mAP50-95 мәні 0,83-ке жетті. Мәдени өсімдік — соя үшін F1-score = 0,97 болатын жоғары классификация сапасына қол жеткізілді, бұл ҰҰА-дан алынған кескіндер бойынша сояны детекттеу үшін бұған дейін ұсынылған нәтижелерден жоғары.

Практикалық маңыздылығы. Ұсынылған оқыту деректер жиынтығын дайындау және кескіндерді алдын ала сегменттеу әдістемесі арамшөптерді автоматты түрде анықтауға және гербицидтерді саралап енгізуге бағытталған дәл егіншілік жүйелерін әзірлеуде қолданылуы мүмкін. Алынған нәтижелер химиялық препараттар шығынын азайтуға және ауыл шаруашылығы алқаптарына түсетін экологиялық жүктемені төмендетуге ықпал етеді.

Түйін сөздер: детекттеу, конволюциялық нейрондық желілер, YOLO, сегменттеу, дәл егіншілік, ұшқышсыз ұшу аппараттары, соя

© **Сымагулов А.^{1,2}, Смурыгин В.¹, Белоусов А.¹, Карыпов А.¹,
Юничева Н.Р.^{1,3*}, 2026.**

¹Институт информационных и вычислительных технологий МНВО РК,
Алматы, Казахстан;

² КазННТУ им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан;

³Алматинский Университет энергетики и связи им. Г. Даукеева,
Алматы, Казахстан.

E-mail: naduni@mail.ru

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ КУЛЬТУРНЫХ И СОРНЫХ РАСТЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ БПЛА НА ПОЛЯХ СОИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Сымагулов Адилхан — инженер-программист, Институт информационных и вычислительных технологий МНВО РК; Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,

E-Mail: asmogulove00@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9974-3215>;

Смурыгин Валентин — инженер-программист, Институт информационных и вычислительных технологий МНВО РК, Алматы, Казахстан,

E-Mail: valentinsmurygin@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-8699-159X>;

Белоусов Алексей — инженер-программист, Институт информационных и вычислительных технологий МНВО РК, Алматы, Казахстан,

e-mail: a.belousov87@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-3100-861X>;

Карыпов Алпамыс — инженер-программист, Институт информационных и вычислительных технологий МНВО РК Алматы, Казахстан,

E-mail: karypov1@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-6125-3791>;

Юничева Надия — кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт информационных и вычислительных технологий МНВО РК; Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, Алматы, Казахстан,

E-mail: naduni@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6351-3450>.

Аннотация. *Актуальность.* Эффективность алгоритмов детектирования растений, в частности моделей семейства YOLO, существенно зависит от качества, структуры и полноты обучающего набора данных. Для задач точного земледелия особенно важна корректная локализация культурных и сорных растений на изображениях, полученных с беспилотных летательных аппаратов, поскольку такие данные могут использоваться для автоматического мониторинга посевов и дифференцированного внесения агрохимических средств. *Цель.* Повысить качество детектирования и локализации сои и сорных растений на снимках соевых полей, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов, за счет применения методов предварительной сегментации изображений при подготовке обучающего набора данных. *Методы.* Для проведения исследования выполнен сбор более 370 RGB-изображений соевых полей с помощью БПЛА DJI Mavic Mini 2 на высоте 4–10 м. Изображения размечены в формате YOLO с использованием сервиса CVAT. Разработан набор данных,

включающий сою и семь видов сорных растений. Исследованы два подхода предварительной сегментации изображений: пороговая сегментация с использованием библиотеки PlantCV и сегментация по ограничивающим рамкам (Bounding Box, Bbox). Для детектирования использовалась модель YOLOv8x, предобученная на наборе данных COCO. Оценка качества проводилась по метрикам Precision, Recall, F1-score, mAP50 и mAP50-95. *Результаты и выводы.* Проведенные вычислительные эксперименты показали, что применение Bbox-сегментации обеспечивает наилучшие результаты детектирования. По сравнению с исходным набором данных значение F1-score увеличилось с 0,64 до 0,79, показатель mAP50(B) - с 0,72 до 0,90, а mAP50-95 достиг 0,83. Для культурного растения, сои, достигнут высокий показатель качества классификации: F1-score = 0,97, что превышает результаты, ранее представленные для детектирования сои по изображениям с БПЛА. Практическая значимость исследования заключается в возможности применения предложенной методики подготовки обучающего набора данных и предварительной сегментации изображений при разработке систем точного земледелия, ориентированных на автоматическое обнаружение сорняков и дифференцированное внесение гербицидов. Полученные результаты могут способствовать снижению расхода химических препаратов и уменьшению экологической нагрузки на сельскохозяйственные угодья.

Ключевые слова: детектирование, сверточные нейронные сети, YOLO, YOLOv8x, сегментация, точное земледелие, беспилотные летательные аппараты, соя, сорные растения, PlantCV.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR24992908 «Система поддержки агротехнических мероприятий в растениеводстве на базе комплекса средств мониторинга и методов искусственного интеллекта (Agroscope)» и № BR21881908 «Комплекс экологического сопровождения городской агломерации»).

Введение. Рост численности населения планеты требует ускоренного развития продовольственной базы, чтобы к 2050 году объем производства продуктов питания был увеличен вдвое. Достижение этой цели возможно за счет перехода от экстенсивных форм сельского хозяйства к интенсивным методам. В стратегических документах правительства подчеркивается необходимость модернизации аграрного сектора и активного развития растениеводства. Реализация этих задач связана с адаптацией технологий точного земледелия к климатическим, погодным и агротехническим особенностям страны и их дальнейшим внедрением в практику фермерских хозяйств. Климат Казахстана, отличающийся резкой континентальностью, характеризуется высокой изменчивостью погодных условий, что напрямую влияет на развитие сельскохозяйственных культур. При этом природная

неоднородность почв внутри одного поля в разных погодных сезонах может проявляться противоположным образом. Так, локальные понижения рельефа в засушливые годы создают благоприятные условия для роста растений, тогда как во влажные сезоны они становятся наименее продуктивными из-за переувлажнения. Таким образом, качество земель внутри поля тесно и неоднозначно связано с погодными факторами, что требует более глубокого анализа и постоянного мониторинга. Это необходимо для принятия оптимальных агротехнических решений и повышения урожайности.

Краткий литературный обзор. Внедрение технологий точного земледелия один из важнейших путей для преодоления продовольственного кризиса связанного с быстрым ростом населения (Dwivedi A., 2017). Процессы точного земледелия предполагают точное воздействие на сельскохозяйственные культуры, возделываемые поля с целью повышения урожайности и снижения расходов. Важной целью является снижения влияния мешающих факторов ограничивающих рост полезных растений. Успешному произрастанию растений препятствуют ряд факторов: вредители, недостаток или избыток удобрений, состояние почвы, недостаток или переизбыток влаги, засоление почвы, сорные растения и т.п. (Kashyap et al., 2021). Достоверная идентификация этих факторов, разумеется, возможна при визуальном осмотре поля агрономом, но большие пространства полей препятствуют широкому применению ручного труда в процессе мониторинга. Очевидным путем улучшения ситуации является применение автоматических средств. Таким средством в последнее время выступают беспилотные летательные аппараты, которые широко используются в самых различных областях воздушного мониторинга, в том числе, в области мониторинга процессов точного земледелия. Подобный мониторинг технически достаточно очевиден. Для его проведения следует выбрать соответствующее поле, высоту полета и учесть ограничения, связанные с погодой, зарядом батарей и т.п. Однако, обработка получаемых данных является достаточно сложной и многоцелевой задачей. Такие данные, несут признаки, так называемых, больших данных (Mukhamediev et al., 2021) и практически не поддаются ручной обработке в оперативном режиме. Хотя при использовании снимков, полученных с борта низколетящих БПЛА, оснащенных камерами высокого разрешения, например, такими как перечисленные в (Okseneko et al., 2024), возникает возможность автоматического распознавания и классификации объектов на полях, однако конкретные пути реализации этого процесса не столь очевидны. Одной из подобных задач является задача классификации и локализации изображений культурных растений и сорняков на полученных снимках (задача детектирования). Решение этой задачи позволяет более точно прогнозировать будущий урожай и применять технологии переменной нормы (VRT - Variable rate technology) (Masi et al., 2023), которые не только снижают издержки, но и повышают урожайность. Для решения этой задачи широко используются методы машинного обучения и прежде

всего фреймворки включающие в свой состав сверточные нейронные сети: AlexNet, ResNet, VGG, Google, U-Net, MobileNets, and DenseNet (Peteinatos et al., 2020). Подобные исследования демонстрируют хорошие результаты, когда качество классификации достигает 90 и более процентов. Однако, на практике требуется решать задачи детектирования, то есть одновременно и локализовать растение (определять местоположение) и классифицировать его.

Наиболее совершенным фреймворком такого типа является YOLO (You Only Look Once) (Umar et al., 2024), который способен решить задачу детектирования объекта за один проход сигнала по сети. То есть обученная и оптимизированная сеть способна обрабатывать несколько десятков кадров высокого разрешения в секунду. Для успешной работы такой модели необходимо лишь обучить ее на соответствующем наборе аннотированных изображений. Очевидно, что подобные крайне привлекательные свойства модели стали катализатором роста числа ее приложений для детектирования растений на полях. Одним из таких приложений стала задача обработки снимков, полученных на полях сои (Symagulov et al., 2022). Соя - это растение, содержащее большое количество белка, обладающее множеством полезных свойств и занимающее лидирующее место среди бобовых культур, значительно превосходя другие (фасоль, горох, нут и т.п.) по объему производства. По этим причинам уделяется большое внимание оптимизации ее производства на основе технологий точного земледелия.

В ряде работ рассматривается применения алгоритма YOLO для детектирования культурных растений и сорняков на полях сои. В основном с применением наземных автоматов, например, решается задача сегментации сорняков на соевом поле со средней точностью 98%. В работе (Sunil et al., 2024) представлены результаты применения YOLO к изображениям, собранным наземным роботом для нескольких культур включая сою. Значения точности варьируются от 80,8 % до 98 % в зависимости от культуры, поля и окружающих условий. Однако при применении снимков полученных с борта БПЛА, достигнутая на сегодня точность классификации значительно ниже.

В работе (Tetila et al., 2024) рассматривается задача бинарной идентификации (соя или сорняки) с применением модели YOLOv5 и БПЛА. Достигнутая точность составляет 0,93 с применением значительно облегченной версии программы. Примерно такой же результат классификации сои получен в работе (Li et al., 2024).

Дополнительный анализ недавних исследований показывает, что развитие методов детектирования сорняков и культурных растений на изображениях с БПЛА идет сразу по нескольким направлениям: совершенствование архитектур глубокого обучения, переход от простого детектирования к сегментации и создание специализированных наборов данных для сои.

В работе (Silva et al., 2024) показано, что объединение задач детектирования и сегментации на материалах аэрофотосъемки позволяет более точно

выделять растения на сложном фоне, характерном для реальных полевых условий. Авторы подчеркивают, что при анализе сельскохозяйственных сцен существенную роль играют неоднородность освещения, тени, остатки почвы и растительных остатков, из-за которых качество распознавания заметно зависит от предварительной обработки изображений и способа представления объекта в обучающем наборе.

Существенный вклад в развитие этой области вносит и работа (Steinmetz et al., 2024), где представлен набор данных GrowingSoy, ориентированный на детектирование сорняков в посевах сои с использованием instance segmentation на протяжении разных стадий роста — от всходов до уборки. Это особенно важно, поскольку большинство существующих подходов оцениваются только на ранних стадиях вегетации, когда растения еще сравнительно легко различимы. Наличие такого набора данных демонстрирует, что дальнейший прогресс в задачах мониторинга сои связан не только с выбором модели, но и с расширением представительности обучающих выборок по фазам роста, плотности стояния растений и сложности сцены.

Наконец, обзор (Zhang et al., 2024) обобщает достижения в области применения БПЛА и глубокого обучения для управления сорной растительностью и показывает, что наиболее перспективными являются подходы, сочетающие высокодетальные съемки, интеллектуальную предобработку и модели, устойчивые к изменению масштаба объектов. В совокупности эти результаты подтверждают, что предварительная сегментация и специализированная подготовка данных являются не вспомогательными, а ключевыми компонентами систем точного земледелия, ориентированных на надежное распознавание культурных и сорных растений.

В настоящей работе мы рассматриваем возможность использования набора данных, в котором размечена только часть изображений растений. Благодаря предварительной сегментации мы, несмотря на указанное ограничение, получили результаты классификации сои значительно лучше, чем в упомянутых статьях. Кроме введения, работа состоит из 3 основных разделов.

Во втором разделе описывается метод, примененный для сбора данных, разметки и детектирования изображений. В третьем разделе мы описываем полученные результаты. В заключении подводятся итоги работы и формулируются задачи будущих исследований.

Методы и материалы исследования. Процесс проведения исследований состоял из сбора фотографий на первой фазе развития растений с помощью БПЛА. Всего было получено более 300 изображений поля в высоком разрешении (4K). Затем вручную была выполнена разметка изображений в формате YOLO (Ultralytics, 2024). Изображение размечалось с помощью общедоступного сервиса CVAT (CVAT, 2024). Затем полученные снимки подавались на вход предварительно обученной модели YOLO, показанной на рисунке 1:

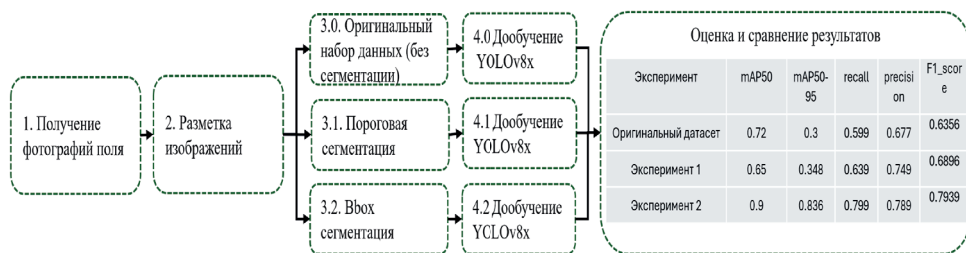


Рисунок 1 - Методическая схема исследования

Опишем перечисленные на рисунке стадии исследования подробнее.

1) Фотографии поля были получены в процессе плановых экспериментальных облетов полей сои. Облет проводился с помощью серийного дрона DJI Mavic Mini 2, оснащенного RGB камерой с разрешением 4К пикселей на высоте от 4 до 10 метров и изображен на рисунке 2. Технические характеристики дрона представлены в приложении А.



Рисунок 2 - Фотография соевого поля

2) Разметка изображений выполнялась с помощью CVAT, так что большинство изображений растений отмечались боксом и аннотировались одним из 10 классов, показано на рисунке 3:

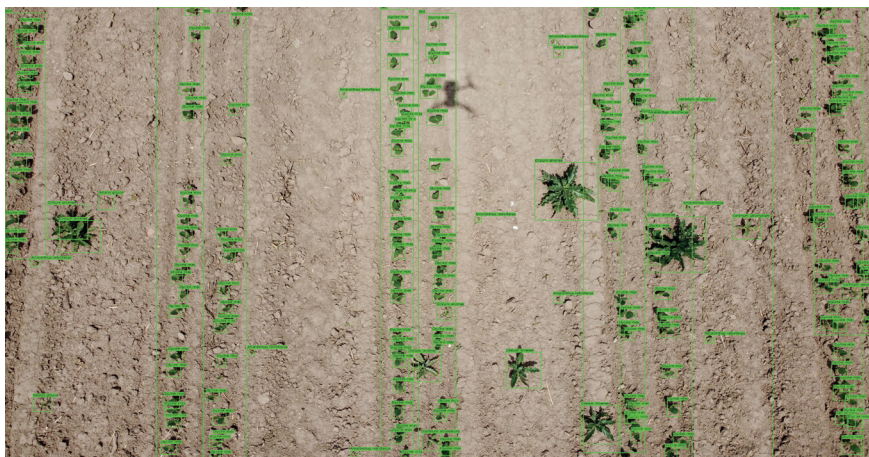


Рисунок 3 - Аннотированное изображение поля

Набор полученных размеченных изображений был разделен в пропорции 80/20 на тренировочный (300 снимков) и тестовый (74 снимка)

3) Сегментирование. Суть процесса сегментирования состоит в том, чтобы удалить задний фон вместе с неразмеченными объектами на каждом снимке. Для этого использовано два подхода.

Первый подход, реализованный в серии экспериментов 1 обеспечивал пороговую сегментацию изображений растений с помощью библиотеки `plantsv` (Zenn, 2024). В процессе пороговой сегментации выполняется сравнение каждого пикселя изображения с заданным порогом в диапазоне от 0 до 255. Яркость пикселей со значением меньше порога устанавливается в 0. Пиксели, имеющие яркость выше порога, не меняются и показаны на рисунке 4.

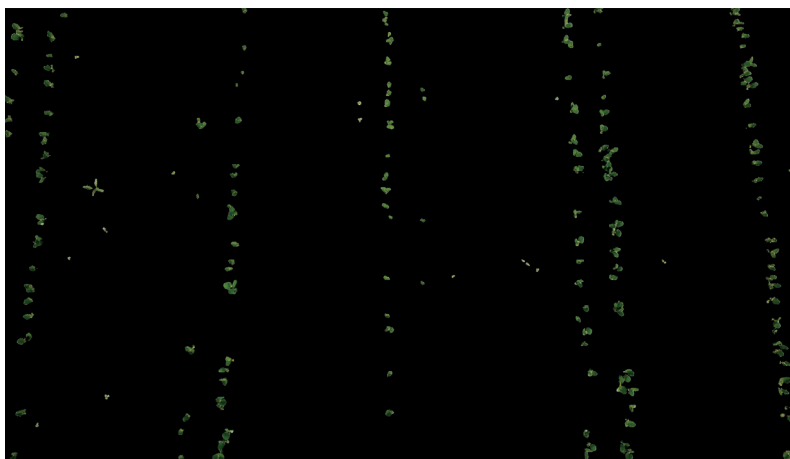


Рисунок 4 - Эксперимент 1. Пороговая сегментация с помощью библиотеки `plantsv` при уровне порога 120

Второй вариант сегментации (эксперимент 2 или Vbox сегментация) заключался в удалении всех неразмеченных изображений растений и фона за пределами ограничивающей рамки (Bounding box - Vbox) и показан на рисунке 5.

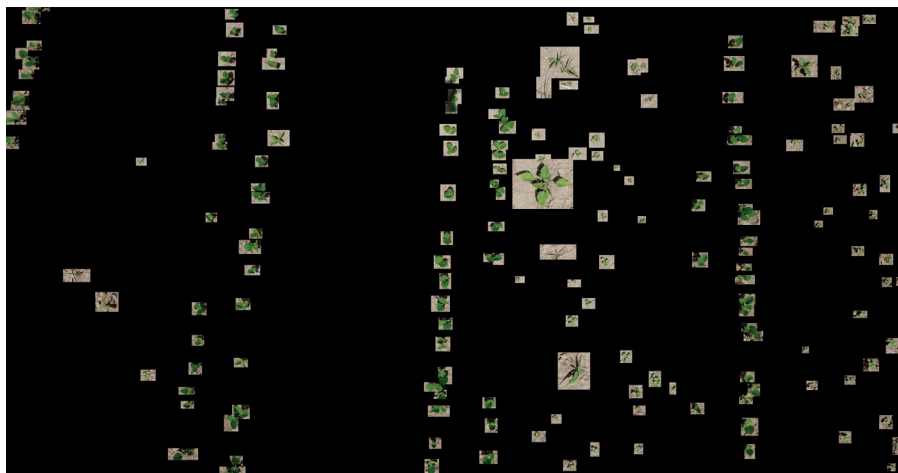


Рисунок 5 - Эксперимент 2. Vbox сегментация. Весь фон за пределами Vbox удален

4) Дообучение YOLO и оценка результатов. В процессе экспериментов использовался фреймворк YOLOv8x, имеющей 70-80 миллионов обучаемых параметров (Ultralytics, 2024). Модель YOLO была предобучена на наборе данных COCO (Common Objects in Context), содержащем объекты 80-ти классов от персон и автомобилей до зубных щеток. Для каждого набора данных использовался один и тот же набор изображений для тестирования и оценки полученных результатов, но дообучение велось независимо на трех наборах данных: набор данных для эксперимента 1 (пороговая сегментация); 2 - Набор данных для эксперимента 2 (Vbox сегментация).; 0 - Оригинальный набор данных без сегментации. Поскольку примененный фреймворк выполняет не только классификацию растений, но и их локализацию, то для оценки полученных результатов детектирования использовались метрики качества классификации и качества локализации, представленные в таблице 1.

Таблица 1 - Метрики оценки качества детектирования растений

Метрика	Формула	Пояснение
Показатели классификации		
Precision (точность)	$P = \frac{TP}{(TP + FP)}$ <p>где «истинные положительные результаты» (TP) и «истинные отрицательные результаты» (TN) - это случаи правильной работы классификатора. Соответственно, «ложные</p>	Доля истинно положительных предсказаний среди всех предсказанных положительных случаев.

	отрицательные результаты» (FN) и «ложные положительные результаты» (FP) - это случаи ошибочной классификации.	
Recall (полнота)	$R = \frac{TP}{(TP + FN)}$	Доля истинно положительных предсказаний среди всех фактических положительных случаев.
F1score (гармоническая мера)	$F1score = \frac{2 * P * R}{(P + R)}$	Гармоническое среднее между точностью и полнотой.
Показатели локализации		
IoU	$IoU = \frac{\text{Площадь пересечения}}{\text{Площадь объединения}}$	Мера, которая количественно определяет перекрытие между предсказанным ограничительным полем (обычно прямоугольником - Bbox) и истинным ограничительным полем. Она играет важную роль в оценке точности локализации объектов.
	$AP = \int_0^1 P(R)dR$ где P(R) - функция точности от полноты.	Средняя точность для одного класса, вычисляемая как площадь под кривой Precision-Recall.
mAP50	$mAP_{0.5} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N AP_i^{0.5}$ где: N - общее количество классов; $AP_i^{0.5}$ - среднее значение Precision (AP) для класса i при IoU = 0.5.	Среднее значение точности по всем классам, используемое для оценки общей производительности модели.
mAP50-95	$mAP_{0.50:0.95} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{10} \sum_{j=0}^9 AP_i^{(0.5 + 0.05j)} \right)$ где: N - общее количество классов; $AP_i^{(0.5 + 0.05j)}$ — среднее значение Precision (AP) для класса i при IoU = $0.5 + 0.05j$ j - индекс, принимающий значения от 0 до 9, соответствующие порогам IoU: 0.5, 0.55, 0.6, ..., 0.95.	Средняя точность, усредненная по нескольким порогам IoU от 0.5 до 0.95 с шагом 0.05.

Полученные результаты. Предварительные этапы, связанные с подготовкой данных, привели к созданию несбалансированных по классам датасетов 0, 1 и 2, содержащих изображения несколько десятков тысяч растений в Таблице 2. Наиболее полно представлены изображения полезных растений (соя), в то время как изображения отдельных сорняков содержат

от десятков до сотен картинок. Оригинальный набор данных (0) содержит небольшое количество (около 10%) неразмеченных изображений растений.

Таблица 2 - Характеристики исходного набора данных и наборов данных, подготовленных в ходе эксперимента 1(пороговая сегментация) и 2 (Вbox сегментация).

Название класса	Расшифровка названия класса	1	2	0
0: Bed	Грядка	0	0	2458
1: Glycine max	Соя	41368	42282	42282
2: Amaranthus retroflexus	Ширица обыкновенная	3840	6155	6155
3: Convolvulus arvensis	Вьюнок полевой	304	385	385
4: Setaria glauca	Щетинник сизый	149	1897	1897
5: Xanthium strumarium	Дурнишник обыкновенный	439	513	513
6: Cirsium arvense	Осот розовый	516	532	532
7: Echinochloa crusgalli	Просо куриное	0	0	0
8: Hibiscus trionum	Гибискус тройчатый	15	15	15
9: Abutilon theophrasti	Канатник Теофраста	27	27	27
10: Chenopodium album	Марь белая	0	0	0
11: Apera spica-venti	Метлица обыкновенная, полевая	0	0	0
Примечание 1 – Набор данных для эксперимента 1(пороговая сегментация); 2- Набор данных для эксперимента 2 (Вbox сегментация).; 0- Оригинальный набор данных без сегментации.				

В последующих экспериментах классы, не представленные в тестовом наборе (0,7,10,11) не использовались при валидации модели.

Поскольку наборы данных не сбалансированы, то есть количество растений разного вида существенно отличается, то для сравнения результатов, полученных в ходе вычислительных экспериментов, рассмотрим матрицы путаницы (confusion matrix).

На рисунке 6 представлена матрица путаницы, полученная в ходе экспериментов с оригинальным (не сегментированным) набором снимков.

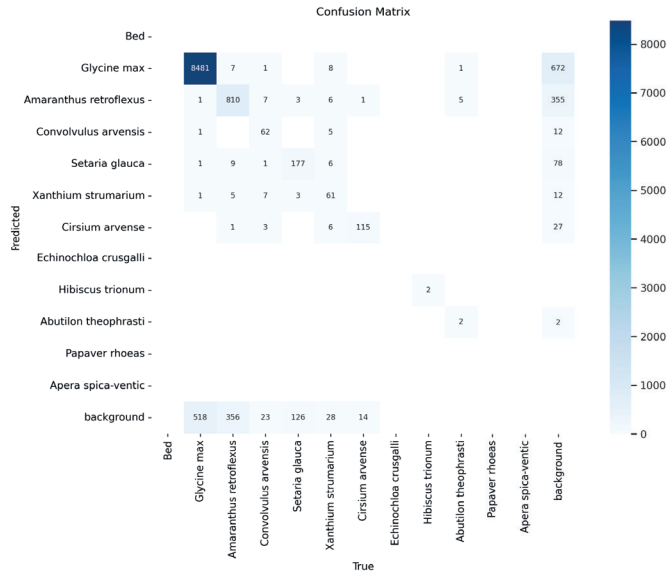


Рисунок 6 - Матрица путаницы для оригинального набора данных

Цифры по диагонали означают процент правильно классифицированных растений соответствующего вида. Цифры вне главной диагонали означают процент ошибок первого и второго рода (FP – выше диагонали, FN – ниже главной диагонали). Нетрудно подсчитать f1_score для soi. Оно составляет 0.933. Это качество примерно соответствует заявленному в литературе (f1_score = 0,9307 (Li et al., 2024).

Данный результат достигнут за счет аккуратной разметки наборов изображений. Однако его можно улучшить. На рисунке 7 показана матрица путаницы, полученная в ходе эксперимента 1 (пороговая сегментация).

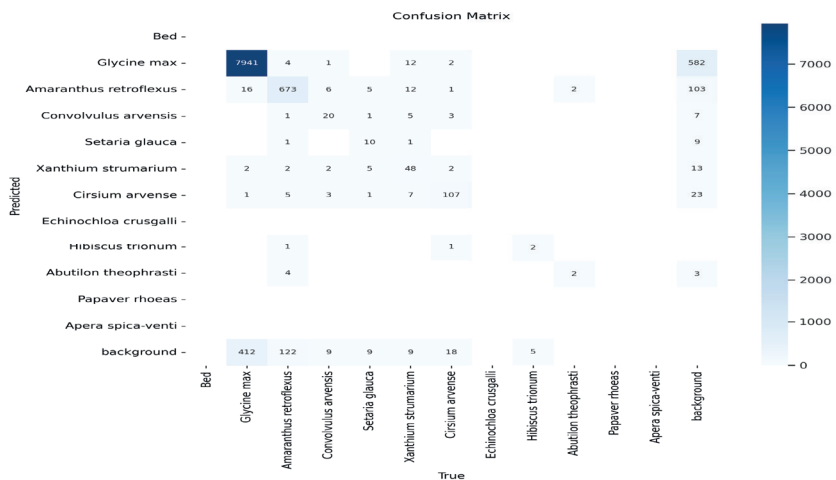


Рисунок 7 - Матрица путаницы для эксперимента 1 (пороговая сегментация)

Качество классификации культурного растения возросло ($f1_score=0.939$), что несколько лучше результатов, указанных в литературе. Однако Вbox сегментация позволяет улучшить и этот результат. На рисунке 8 показана матрица путаницы, полученная в ходе эксперимента 2 (Вbox сегментация).

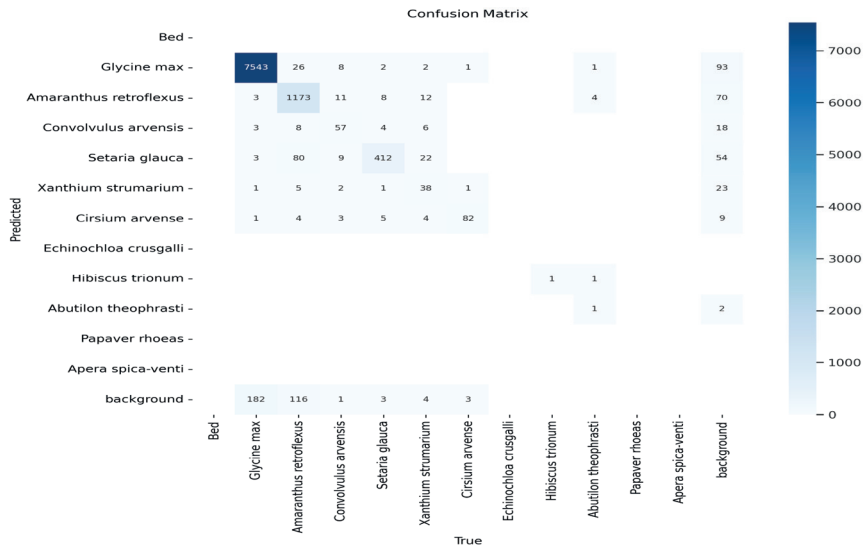


Рисунок 8 - Матрица путаницы для эксперимента 2 (пороговая сегментация)

Качество классификации культурного растения стало значительно выше ($f1_score=0.979$). Однако качество классификации сорняков, таких как, *Abutilon theophrasti* и *Xanthium strumarium* снизилось. Частично полученный результат можно объяснить тем, что, во-первых, количество сорных растений всех видов мало, во-вторых, *Abutilon theophrasti* на этой фазе роста весьма мелкий сорняк. Однако требуются дополнительные исследования для выяснения причин снижения качества распознавания отдельных видов сорных растений. Подводя итог, приведем усредненные результаты качества детектирования всех видов растений, как культурного растения (сои) так и сорняков в Таблице 3.

Таблица 3 - Результаты вычислительных экспериментов при детектировании сои и сорняков.

Тренировочный набор данных	mAP50	mAP50-95	recall	precision	F1_score
Оригинальный датасет	0.72	0.3	0.599	0.677	0.6356
Эксперимент 1	0.65	0.348	0.639	0.749	0.6896
Эксперимент 2	0.9	0.836	0.799	0.789	0.7939

Можно констатировать, что качество детектирования при применении Вbox сегментации (эксперимент 2) значительно выше как в сравнении с оригинальным набором данных так и в сравнении с пороговой сегментацией

(эксперимент 1). Значительно возросло качество локализации ($mAP_{50-95}=0.836$), что позволяет более уверенно идентифицировать место расположения растения на поле.

Обсуждение. Полученные результаты показывают, что ключевым фактором повышения качества детектирования в рассматриваемой задаче является не только выбор современной архитектуры YOLO, но и способ подготовки обучающего набора данных. В нашем исследовании именно предварительная Vbox-сегментация обеспечила заметный прирост качества по сравнению как с исходным набором изображений, так и с пороговой сегментацией. Это позволяет сделать вывод, что для снимков, полученных с борта БПЛА, существенную роль играет уменьшение влияния фона, неразмеченных растений и мелких неоднородностей сцены, которые затрудняют обучение детектора и приводят к росту ошибок локализации. Особенно важным представляется тот факт, что улучшение коснулось не только интегрального показателя F1-score, но и метрик локализации, включая mAP_{50-95} , что указывает на более устойчивое согласование между классификацией объекта и точностью определения его положения на изображении.

Сопоставление с опубликованными работами подтверждает правдоподобность полученных выводов.

В исследовании (Silva et al., 2024) показано, что при анализе аэрофотоснимков сельскохозяйственных культур высокое качество детектирования и сегментации напрямую зависит от способности модели выделять растения на сложном фоне, содержащем тени, почвенные включения и остатки растительности. Авторы сравнивали несколько архитектур, включая YOLOv8, Mask R-CNN и U-Net, и пришли к выводу, что сама по себе модель не устраняет проблему фоновой неоднородности без соответствующей подготовки данных. Сходная логика прослеживается и в работе (Steinmetz et al., 2024), где для набора данных GrowingSoy, охватывающего различные стадии вегетации сои, были получены значения segmentation average precision порядка 79,1% и average recall до 73,3%, а для сои по метрике mAP_{50} достигнут уровень 90,1%. Эти результаты демонстрируют, что даже при наличии более богатого и хронологически разнообразного набора данных задача остается чувствительной к фазе роста растений и сложности сцены. Обзор (Zhang et al., 2024) также подчеркивает, что перспективные системы точного земледелия должны сочетать высокодетальные UAV-изображения, интеллектуальную предобработку и модели, устойчивые к изменению масштаба объектов и межвидовому сходству растений.

Вместе с тем результаты нашего исследования указывают и на ограничения предложенного подхода. Рост качества детектирования сои сопровождался менее устойчивым распознаванием отдельных видов сорняков, что, вероятно, связано с дисбалансом классов, малым числом объектов некоторых видов и их малыми размерами на ранних стадиях

развития. Следовательно, предварительная сегментация не устраняет полностью проблему недостаточной представленности классов, а лишь повышает информативность визуального представления объектов.

С практической точки зрения это означает, что предложенная методика особенно эффективна в задачах раннего мониторинга сои и подготовки данных для систем адресного внесения гербицидов, однако для повышения качества распознавания сорняков необходимы дальнейшее расширение датасета, учет последующих фаз вегетации и, возможно, переход к более детализированным схемам *instance segmentation*. Таким образом, основное значение полученных результатов заключается в том, что предварительная сегментация может рассматриваться как самостоятельный и воспроизводимый способ повышения качества UAV-детектирования в условиях ограниченной и частично размеченной выборки, а не только как вспомогательный этап обработки изображений.

Предложенный подход может быть использован как основа для создания прикладных систем мониторинга состояния посевов, ориентированных на раннее выявление засоренности и поддержку решений по дифференцированному внесению средств защиты растений. Важным преимуществом методики является ее воспроизводимость: она не требует специализированных сенсоров, а базируется на стандартной RGB-съемке с доступного БПЛА и использовании современных методов аннотирования и предобработки данных. Это создает предпосылки для дальнейшего переноса разработанного подхода на другие культуры и расширения его применения в практических задачах цифрового земледелия.

Заключение. Методы компьютерного зрения, особенно те, которые связаны с обнаружением, локализацией и классификацией объектов, помогают в процедурах борьбы с сорняками на конкретных участках поля. Они позволяют внедрять практики переменной нормы внесения гербицидов в пределах поля. Однако основной проблемой при разработке системы обнаружения сорняков и подсчета культурных растений является необходимость в правильно аннотированной базе данных для различения сорняков и культур в полевых условиях. В настоящей работе использован разработанный авторами набор аннотированных изображений культур на соевом поле, содержащий более 370 высоко детальных изображений, аннотированных для применения фреймворков YOLO.

Общее число аннотированных растений приближается к 50 тысячам. На первом этапе экспериментов достигнуты результаты в целом сопоставимые с описанными в литературе. Дальнейшие эксперименты с применением *Box* сегментации, позволили существенно улучшить эти результаты. Достигнут высокий результат детектирования сои на снимках полученных с борта БПЛА.

Разработанная методика подготовки данных и обучения позволила превзойти результаты, описанные ранее (Li et al., 2024) ($F1_score=0.93$)

и достичь результатов получаемых с помощью систем машинного зрения, установленных на наземных роботах (F1_score=0.98). Другими словами, предложенная и реализованная нами методика предобработки обучающего набора изображений позволила достичь лучших чем известные из литературы результаты детектирования сои с помощью БПЛА.

Однако, несмотря на хорошие результаты, достигнутые в процессе исследования, имеются некоторые ограничения, которые нужно будет учесть в процессе проведения следующих этапов исследования:

1. Наборы данных не сбалансированы и содержат много изображений культурных растений и намного меньше сорняков. В результате качество классификации сорняков значительно уступает качеству детектирования полезного растения.

2. Все эксперименты были проведены только на первом этапе роста сои, когда растения хорошо идентифицируются и почти не перекрываются. Расширение набора данных снимками полей на последующих этапах роста сои повысит практическую применимость набора данных и соответствующего метода детектирования.

3. Использовалась модель YOLO предобученная на изображениях данных СОСО, которые не содержат специфических изображений культурных растений и сорняков. Увеличение набора размеченных снимков и применение методов аугментации может повысить качество классификации и локализации не только полезных растений, но и всех классов сорняков.

Перечисленные задачи являются целями следующих этапов исследований, планируемых авторами.

Приложение А. Технические характеристики дрона разведчика

Технические характеристики дрона разведчика приведены в таблице А.1:

Таблица А.1 - Технические характеристики дрона разведчика (DJI, 2024a)

Параметр	Значение
Взлетный вес	<249 г
Размер по диагонали (без пропеллеров)	213 мм
Максимальная скорость набора высоты	5 м/с (режим S); 3 м/с (режим N); 2 м/с (режим C)
Максимальная скорость снижения	3,5 м/с (режим S); 3 м/с (режим P); 1,5 м/с (режим C)
Максимальная скорость полета	16 м/с (режим S); 10 м/с (режим N); 6 м/с (режим C)
Максимальный угол наклона	40° (режим S); 25° (режим N); 25° (режим C) (*до 40° при сильном ветре)
Максимальная угловая скорость	130°/с (режим S); 60°/с (режим N); 30°/с (режим C)* (*можно настроить до 250°/с в приложении DJI Fly)
Максимальная высота полета	2000 - 4000 м
Максимальная скорость ветра	8,5–10,5 м/с (до 5 баллов по шкале Бофорта)

Максимальное время полета	31 минута (при скорости 4,7 м/с в безветренную погоду)
Диапазон рабочих температур	От 0° до 40°C
Точность позиционирования в вертикальной плоскости	±0,1 м (визуальное позиционирование), ±0,5 м (спутниковое позиционирование)
Точность позиционирования в горизонтальной плоскости	±0,3 м (визуальное позиционирование), ±1,5 м (спутниковое позиционирование)
Рабочая частота	2,4–2,4835 ГГц
Параметр	Значение
Взлетный вес	<249 г
Размер по диагонали (без пропеллеров)	213 мм
Максимальная скорость набора высоты	5 м/с (режим S); 3 м/с (режим N); 2 м/с (режим C)
Максимальная скорость снижения	3,5 м/с (режим S); 3 м/с (режим P); 1,5 м/с (режим C)
Максимальная скорость полета	16 м/с (режим S); 10 м/с (режим N); 6 м/с (режим C)
Максимальный угол наклона	40° (режим S); 25° (режим N); 25° (режим C) (*до 40° при сильном ветре)
Максимальная угловая скорость	130°/с (режим S); 60°/с (режим N); 30°/с (режим C)* (*можно настроить до 250°/с в приложении DJI Fly)
Максимальная высота полета	2000 - 4000 м
Максимальная скорость ветра	8,5–10,5 м/с (до 5 баллов по шкале Бофорта)
Максимальное время полета	31 минута (при скорости 4,7 м/с в безветренную погоду)
Диапазон рабочих температур	От 0° до 40°C
Точность позиционирования в вертикальной плоскости	±0,1 м (визуальное позиционирование), ±0,5 м (спутниковое позиционирование)
Точность позиционирования в горизонтальной плоскости	±0,3 м (визуальное позиционирование), ±1,5 м (спутниковое позиционирование)
Рабочая частота	2,4–2,4835 ГГц

Технические характеристики камеры дрона разведчика приведены в таблице А.2.

Таблица А.2 - Технические характеристики камеры дрона разведчика DJI Mavic Mini 2 (DJI, 2024b)

Параметр	Значение
Эффективное количество пикселей	12 Мп
Тип сенсора	CMOS, размер 1/2,3 дюйма
Объектив	Угол обзора: 83°, эквивалент 24 мм (формат 35 мм); Диафрагма: f/2.8; Фокусировка: от 1 м до бесконечности
Выдержка	Электронный затвор, скорость: 4–1/8000 с
ISO	Видео: 100–3200 (авто), 100–3200 (ручной); Фото: 100–3200 (авто), 100–3200 (ручной)
Размер изображения	4:3: 4000x3000; 16:9: 4000x2250
Поддерживаемые файловые системы	FAT32 (до 32 Гбайт); exFAT (более 32 Гбайт)

Максимальный битрейт видео	100 Мбит/с
Поддерживаемые форматы файлов	Фото: JPEG/DNG (RAW); Видео: MP4 (H.264/MPEG-4 AVC)
Поддерживаемые карты памяти	UHS-I Speed Class 3 или выше
Разрешение видео	4K: 3840×2160 при 24/25/30 кадров в секунду; 2.7K: 2720×1530 при 24/25/30/48/50/60 кадров в секунду; FHD: 1920×1080 при 24/25/30/48/50/60 кадров в секунду.

References

- CVAT (2024). <https://www.cvat.ai> Retrieved October 24, 2025 (in Eng.).
- DJI (2024a). Consumer drones comparison. — <https://www.dji.com/products/comparison-consumer-drones?from=store-product-page-comparison> (Retrieved October 24, 2025). (in Eng.).
- DJI (2024b) Support for DJI Mini 2. — <https://www.dji.com/global/support/product/mini-2> Retrieved October 24, 2024). (in Eng.).
- Dwivedi A. (2017) Precision agriculture. *Parmar Publ. Distrib.*, 5. – P. 83–105. (in Eng.).
- Kashyap B., Kumar R. (2021) Sensing methodologies in agriculture for soil moisture and nutrient monitoring. *IEEE Access*, 9. – P.14095–14121. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3052478> (in Eng.).
- Li J., Zhang W., Zhou H., Yu C., Li Q. (2024) Weed detection in soybean fields using improved YOLOv7 and evaluating herbicide reduction efficacy. *Frontiers in Plant Science*, 14. – P.1284338. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1284338> (in Eng.).
- Masi M., Di Pasquale J., Vecchio Y., Capitanio F. (2023) Precision farming: Barriers of variable rate technology adoption in Italy. *Land*, 12. – P.1084. <https://doi.org/10.3390/land12051084> (in Eng.).
- Mukhamediev R.I., Symagulov A., Kuchin Y.I., Zaitseva E.N., Bekbotayeva A., Yakunin K., Assanov I., Levashenko V.G., Popova Y., Akzhalova A.Z., Bastaubayeva S., Tabyimbaeva L. (2021) Review of some applications of unmanned aerial vehicles technology in the resource-rich country. *Applied Sciences*, 11(21). – P.10171. <https://doi.org/10.3390/app112110171> (in Eng.).
- Okseneko A.A., Yerimbetova A.S., Kuanaev A., Mukhamediev R.I., Kuchin Y.I. (2024) Tekhnicheskie sredstva distantsionnogo monitoringa s pomoshch'yu bespilotnykh letatel'nykh platform [Technical remote monitoring systems using unmanned aerial vehicles]. *Izvestiya Nacional'noi Akademii Nauk Respubliki Kazakhstan*, 3(351). – P.152–173. <https://doi.org/10.32014/2024.2518-1726.298> (in Russian).
- Osman Y., Dennis R., Elgazzar K. (2021) Yield estimation and visualization solution for precision agriculture. *Sensors*, 21(19). -P.6657. <https://doi.org/10.3390/s21196657> (in Eng.).
- Peteinatos G., Reichel P., Karouta J., Andújar D., Gerhards R. (2020) Weed identification in maize, sunflower, and potatoes with the aid of convolutional neural networks. *Remote Sens.*, 12. – P.4185. <https://doi.org/10.3390/rs12244185> (in Eng.).
- PlantCV (2024). *Plant Computer Vision*. — <https://plantcv.org/> (Retrieved October 24, 2024). (in Eng.).
- Symagulov A., Kuchin Y., Yakunin K., Murzakhmetov S., Yelis M., Oxenenko A., Assanov I., Bastaubayeva Sh., Tabyimbaeva L., Rabčan J. Mukhamediev R. (2022) Recognition of soybean crops and weeds with YOLO v4 and UAV. *International Conference on Internet and Modern Society*. Cham: Springer Nature Switzerland, 3–14. https://doi.org/10.1007/978-3-031-50609-3_1 (in Eng.).
- Tetila E. C., Moro B.L., Astolfi G. (2024) Real-time detection of weeds by species in soybean using UAV images. *Crop Protection*, 184. – P. 106846. <https://doi.org/10.1016/j.cpro.2024.106846> (in Eng.).
- Silva J.A.O.S., Siqueira V.S., Mesquita M., Vale L.S.R., Marques T.N.B., Silva J.L.B., Silva M.V.,

Lacerda L.N., Oliveira-Júnior J. F., Pedrosa de Lima J.L., Oliveira H.F.E. (2024) Deep learning for weed detection and segmentation in agricultural crops using images captured by an unmanned aerial vehicle. *Remote Sensing*, 16. – P. 4394. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs16204394> (in Eng.).

Steinmetz R., Kich V. A., Krever H., Mazzarolo J. D. R., Grando R. B., Marini V., Trois C., Nieuwenhuizen A. (2024) From Seedling to Harvest: The GrowingSoy Dataset for weed detection in soy crops via instance segmentation. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS) and IEEE International Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM)*. – P. 502–507. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/cis-ram61939.2024.10673082> (in Eng.).

Zhang J., Yu F., Zhang Q., Wang M., Yu J., Tan Y. (2024) Advancements of UAV and deep learning technologies for weed management in farmland. *Agronomy*, 14. – P. 494. DOI:10.3390/agronomy14030494 (in Eng.).

Ultralytics (2024) YOLOv8 Label Format: A stepbystep guide. — <https://docs.ultralytics.com/ru/datasets/detect/coco/> (Retrieved October 24, 2025). (in Eng.).

Umar M., Altaf S., Ahmad S., Mahmoud H., Mohame A. S. N., Ayub R. (2024) Precision agriculture through deep learning: Tomato plant multiple diseases recognition with CNN and improved YOLOv7. *IEEE Access*, 12. – P. 9167–49183. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/access.2024.xxxxx> (in Eng.).

Zenn (2024) Explanation of all of YOLO series, 11. <https://doi.org/https://doi.org/14a87a0db17dfa> (Retrieved October 24, 2025). (in Eng.).

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The Central Asian Academic Research Center LLP follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the Central Asian Academic Research Center LLP.

The Editorial Board of the Central Asian Academic Research Center LLP will monitor and safeguard publishing ethics.

Requirements for articles design for publication in the journal are available on the websites:

**www.nauka-nanrk.kz
<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>
ISSN2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)**

Managing Editor: *A. Shormakova*
Editors: *D.S. Alenov, T. Apendiev*
Computer layout: *G.D. Zhadyranova*

Signed for print: June 15, 2026
Format: 70×90 1/16. 26.5 printed sheets. Order No. 2.