



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ПРЕЗИДЕНТІНІҢ ЖАНЫНДАҒЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ  
АКАДЕМИЯСЫ

№04

ISSN 2304-3334  
№04(112)2026



**ІЗДЕНІСТЕР, НӘТИЖЕЛЕР**

Ғ Ы Л Ы М И Ж У Р Н А Л



**ИССЛЕДОВАНИЯ, РЕЗУЛЬТАТЫ**

Н А У Ч Н Ы Й Ж У Р Н А Л



**RESEARCH, RESULTS**

S C I E N T I F I C J O U R N A L

АЛМАТЫ

**KAZAKH NATIONAL AGRARIAN RESEARCH UNIVERSITY  
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF KAZAKHSTAN UNDER THE PRESIDENT OF THE  
REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

**ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ АГРАРЛЫҚ ЗЕРТТЕУ УНИВЕРСИТЕТІ  
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ПРЕЗИДЕНТІНІҢ ЖАНЫНДАҒЫ  
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ**

**КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
ПРИ ПРЕЗИДЕНТЕ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

| <b>Research, results</b> | <b>Ізденістер, нәтижелер</b> | <b>Исследования, результаты</b> |
|--------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Published since 1999.    | Издается с 1999 г. Том       | Издается с 1999 г.              |
| Volume 28. No.112. 2026  | 28. No.112. 2026             | Том 28. No.112. 2026            |

Зарегистрировано в Министерстве информации и общественного согласия РК.  
Свидетельство об учетной регистрации №482-Ж от 25 ноября 1998 года.  
Зарегистрировано в Международном центре регистрации серийных изданий ISSN  
(ЮНЕСКО, Париж, Франция). ISSN 2304–3334.

Приказом №148 от 27.12.2022 г. Комитета по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНВО РК научный журнал «Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты» КазНАИУ включен в Перечень изданий, рекомендуемых для публикации основных результатов научной деятельности (сельскохозяйственные науки).

С целью объединения усилий, продвижения и популяризации результатов научных изысканий казахстанских ученых в мировом сообществе, согласно Соглашения №27 от 15 августа 2023 года НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет» совместно с НАО «Национальная академия наук Республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан» издает научный журнал «Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты».

**EDITORIAL BOARD****EDITOR-IN-CHIEF:**

**Akhylbek Kazhigulovich Kurishbayev** — Editor-in-Chief, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, President of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan under the President of the Republic of Kazakhstan, Academician; (Scopus h-9)

**DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:**

**Primkul Sholpankulovich Ibragimov** — Deputy Editor-in-Chief, Doctor of Veterinary Sciences, Professor; (Scopus h-3)

**EDITORIAL TEAM:**

**Abilai Ryspaevich Sansyzbay** — Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Kazakh National Agrarian Research University. (Scopus h-16)

**Nurzhan Biltebaikyzy Sarsembayeva** — Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Kazakh National Agrarian Research University. (Scopus h-8)

**Akhmetzhan Akievich Sultanov** — Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Kazakh National Agrarian Research University, Director of the Department of Science; (Scopus h-12)

**Sobiech Przemyslaw Hubert** — Doctor of Veterinary Sciences, Professor, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland; (Scopus h-12)

**Andrey Pavlinovich Bogoyavlensky** — Doctor of Biological Sciences, Professor, “Research and Production Center of Microbiology and Virology” LLP; (Scopus h-16)

**Iancu Ionica Mihaela** — Associate Professor, PhD, Faculty of Veterinary Medicine, Banat University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine “King Michael I of Romania”, Timișoara, Romania. Specialization: veterinary sciences, microbiology, infectious diseases, antimicrobial resistance; (Web of Science - 8).

**Jan MICIŃSKI** — PhD, University of Warmia and Mazury, Poland; (Scopus h-8)

**Aibyn Adepkhanovich Torekhanov** — Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chairman of the Board of “Kazakh Research Institute of Animal Husbandry and Fodder Production” LLP; (Scopus h-3)

**Kairat Zhaleluly Iskhan** — Candidate of Agricultural Sciences, Professor of the “Department of Animal Biology” named after Academician N.O. Bazanova, Kazakh National Agrarian Research University; (Scopus h-4)

**Sholpan Rakhimbekovna Adykanova** — Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Department of Zooengineering and Biotechnology, Kazakh National Agrarian Research University; (Scopus h-5)

**Koray Kırıkçı** — Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ahi Evran University, Turkey; (Scopus h-6)

**Temirzhan Yerkasovich Aitbayev** — Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician, Chairman of the Board of “Kazakh Research Institute of Fruit and Vegetable Growing” LLP; (Scopus h-5)

**Sholpan Orazovna Bastaubayeva** — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Chairman of the Board of “Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing” LLP; (Scopus h-8)

**Bakhytzhan Alisherovich Duisembekov** — Candidate of Biological Sciences, Chairman of the Board of “Kazakh Research Institute of Plant Protection and Quarantine named after Zhazken Zhiembaev” LLP; (Scopus h-7)

**Erlan Bozanbayuly Dutbayev** — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the “Department of Plant Protection and Quarantine”, Kazakh National Agrarian Research University; (Scopus h-9)

**Aigul Absultanovna Zhapparova** — Candidate of Agricultural Sciences, Professor at the “Department of Soil Science, Agrochemistry and Ecology”, Kazakh National Agrarian Research University; (Scopus h-6)

**Ashimkhan Toktasynovich Kanaev** — Doctor of Biological Sciences, Professor at the “Department of Soil Science, Agrochemistry and Ecology”, Kazakh National Agrarian Research University; (Scopus h-4)

**Fabián G.Fernández** — PhD, Professor, University of Minnesota, USA; (Scopus h-28)

**Elmira Saljnikov** — PhD, Professor, University of Belgrade, Serbia; Professor at the Institute of Multidisciplinary Research; (Scopus h-14)

**Askhat Khamitovich Naushabayev** — PhD, Associate Professor at the “Department of Soil Science, Agrochemistry and Ecology”, Kazakh National Agrarian Research University; (Scopus h-4)

**Wenfeng Liu** - PhD, Professor, China Agricultural University; (Scopus h-39)

**Mukhamadkhan Khamidov** — Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Uzbekistan; (Scopus h-14)

**Ainur Yesirkepovna Aldiyarova** — PhD, Associate Professor, Kazakh National Agrarian Research University;

(Scopus h-4)

**Kanat Kurmanovich Anuarbekov** — PhD, Associate Professor, Kazakh National Agrarian Research University; (Scopus h-5)

**Azamat Sansyrbayevich Madibekov** — PhD, Associate Professor, Head of the Laboratory “Hydrochemistry and Environmental Toxicology”, Institute of Geography and Water Security; (Scopus h-8)

**Dani Nurgisaevna Sarsekova** — Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Forestry and Land Resources, Kazakh National Agrarian Research University; (Scopus h-8)

**Aizhan Naskenovna Zhildikbayeva** — PhD, Associate Professor, Department of Land Resources and Cadastre, Kazakh National Agrarian Research University; (Scopus h-7)

**Daniyar Akhmetovich Dosmanbetov** — PhD, Associate Professor, Leading Researcher at the Almaty Branch of the “Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry named after A.N. Bokeikhan” LLP; (Scopus h-10)

**Sezgin AYAN** — Professor, PhD, Kastamonu University, Faculty of Forestry, Head of the Department of Silviculture, Turkey (Scopus h-14)

**Roman Vladimirovich Shults** — PhD, Professor, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia; (Scopus h-11)

**Komil Dullievich Astanakulov** — Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Agricultural Machinery and Technologies, National Research University “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers”, Uzbekistan; (Scopus h-20)

**Saykhat Orazovich Nukeshov** — Doctor of Technical Sciences, Professor at S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Department of Technical Mechanics; (Scopus h-8)

**Marat Zhalelovich Khazimov** — Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Energy and Electrical Engineering, Kazakh National Agrarian Research University; (Scopus h-5)

**Daskalov Plamen** — PhD, Professor, University of Ruse “Angel Kanchev”, Vice-Rector for Development Coordination and Continuing Education, Bulgaria; (Scopus h-10)

**Abdurakhim Suleimanovich Berdyshev** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Energy and Electrical Engineering, Kazakh National Agrarian Research University; (Scopus h-8)

**Anatoly Nikolaevich Ostrikov** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Voronezh State University of Engineering Technologies, Head of the Department of Processes and Apparatus of Chemical and Food Production; (Scopus h-7)

**Liviu Gaceu** - Professor, Transilvania University of Braşov, Romania; (Scopus h-9)

**Aigul Kulakhmetovna Timurbekova** — Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Food Technology and Safety, Kazakh National Agrarian Research University; (Scopus h-9)

**Maksat Risbekovich Toyshimanov** — PhD, Senior Lecturer in the Department of Food Technology and Safety, Kazakh National Agrarian Research University; (Scopus h-8)

**Gulmira Serikbaykyzy Kenenbai** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, “Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry” LLP (Scopus h-5)

---

Scientific Journal “Research, Results”

Publication frequency: 6 issues per year

Languages: Kazakh, Russian, English

DOI prefix: 10.37884

ISSN: 2304-3334.

Scope: “Stock-Raising and Veterinary”; “Agriculture, Agrochemical, Feed Production, Agroecology”; “Water, Land, and Forest Resources”; “Agriculture Mechanization and Electrification”.

Distribution: Materials are distributed under the Creative Commons Attribution 4.0

Website: <https://journal.kaznaru.edu.kz>

Founder/Publisher: Kazakh National Agrarian Research University; National Academy of Sciences of Kazakhstan under the President of the Republic of Kazakhstan

Copyright: © Research, Results, 2026

## РЕДАКЦИЯ

### БАС РЕДАКТОР:

**Куришбаев Ахылбек Кажигулович** — бас редактор, ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, профессор, ҚР Президенті жанындағы ҚР Ұлттық ғылым академиясының президенті, академик; (Scopus h-9)

### БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЫ:

**Ибрагимов Примкул Шолпанкулович** — бас редактордың орынбасары, ветеринария ғылымдарының докторы, профессор; (Scopus h-3)

### РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА:

**Сансызбай Абылай Рыспаевич** — ветеринария ғылымдарының докторы, профессор. Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті; (Scopus h-16)

**Сарсембаева Нуржан Білтебайқызы** — ветеринария ғылымдарының докторы, профессор. Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті; (Scopus h-8)

**Султанов Ахметжан Акиевич** — ветеринария ғылымдарының докторы, профессор, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Ғылым департаментінің директоры; (Scopus h-12)

**Sobiech Przemyslaw Hubert** — ветеринария ғылымдарының докторы, профессор. Олыштындағы Вармин-Мазур университеті, Польша; (Scopus h-12)

**Богоявленский Андрей Павлович** — биология ғылымдарының докторы, профессор. «Микробиология және вирусология ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС; (Scopus h-16)

**Iancu Ionica Mihaela** — доцент, PhD., Король Михай I атындағы Банат ауылшаруашылық ғылымдары және ветеринарлық медицина университетінің Ветеринарлық медицина факультеті (Тимишоара, Румыния). Мамандану салалары: ветеринария ғылымдары, микробиология, жұқпалы аурулар, микробқа қарсы төзімділік; (Web of Science-8).

**Jan MICIŃSKI** — PhD, Вармин-Мазур университеті, Польша; (Scopus h-8)

**Тореханов Айбын Адепханович** — ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, профессор, «Қазақ мал шаруашылығы және жемшөп өндіру ғылым-зерттеу институты» ЖШС Басқарма төрағасы; (Scopus h-3)

**Исхан Кайрат Жәлелұлы** — ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты. Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, академик Н.О. Базанова атындағы «Жануарлар биологиясы» кафедрасының профессоры; (Scopus h-4)

**Адылканова Шолпан Рахимбековна** — ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы. Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, зооинженерия және биотехнология кафедрасының профессоры; (Scopus h-5)

**Корай Кырыкчы** — ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы. Ахи Эвран университетінің ауыл шаруашылығы факультетінің зоотехния кафедрасының профессоры (Түркия); (Scopus h-6)

**Айтбаев Темиржан Еркасович** — ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, профессор, академик, «Қазақ жеміс-көкөніс шаруашылығы ҒЗИ» ЖШС Басқарма төрағасы; (Scopus h-5)

**Бастаубаева Шолпан Оразовна** — ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор. «Қазақ егіншілік және Өсімдік шаруашылығы ҒЗИ» ЖШС басқарма төрағасы; (Scopus h-8)

**Дуйсембеков Бахытжан Әлішерович** — биология ғылымдарының кандидаты, «Жазкен Жиембаев атындағы өсімдіктерді қорғау және карантин Қазақ ғылыми-зерттеу институты» ЖШС Басқарма төрағасы; (Scopus h-7)

**Дутбаев Ерлан Бозанбайұлы** — ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты. Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті. Бау-бақша, өсімдіктерді қорғау және карантин кафедрасының қауымдастырылған профессоры; (Scopus h-9)

**Жаппарова Айгүл Абсултановна** — ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, профессор. Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті. Топырақтану, агрохимия және экология кафедрасының профессоры; (Scopus h-6)

**Канаев Ашимхан Токтасынович** — биология ғылымдарының докторы, профессор. Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті. Топырақтану, агрохимия және экология кафедрасының профессоры; (Scopus h-4)

**Fabián G.Fernández** — философия докторы, профессор. Миннесота университетінің профессоры (Америка Құрама Штаттары); (Scopus h-28)

**Elmira Saljnikov** — философия докторы, профессор. Белград Университеті, Белград, Сербия. Көпсалалы зерттеулер институтының ғылыми қызметкері (профессор). (Scopus h-14)

**Наушабаев Асхат Хамитович** — PhD, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті. «Топырақтану, агрохимия және экология» кафедрасының қауымдастырылған профессоры; (Scopus h-4)

**Wenfeng Liu** — PhD, профессор. Қытай ауылшаруашылық университеті (China Agricultural University); (Scopus h-39)

**Хамидов Мухамадхан** — ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, профессор. Ташкент суару және ауыл шаруашылығын механикаландыру инженерлері институты, Өзбекстан; (Scopus h-14)

**Алдиярова Айнура Есиркеповна** — PhD, қауымдастырылған профессор. Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті; (Scopus h-4)

**Ануарбеков Канат Курманович** — PhD, қауымдастырылған профессор. Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті; (Scopus h-5)

**Мадиев Азамат Сансызбаевич** — PhD, қауымдастырылған профессор. «Гидрохимия және экологиялық токсикология» зертханасының жетекшісі, География және су қауіпсіздігі институты; (Scopus h-8)

**Сарсекова Дани Нургисаевна** — ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, профессор, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, «Орман шаруашылығы және жер ресурстары» факультетінің деканы; (Scopus h-8)

**Жилдикбаева Айжан Наскеновна** — PhD, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, «Жер ресурстары және кадастр» кафедрасының қауымдастырылған профессоры; (Scopus h-7)

**Досманбетов Данияр Ахметович** — PhD, қауымдастырылған профессор, «Ә. Н. Бөкейхан атындағы орман шаруашылығы және агроорман шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты» ЖШС Алматы филиалының жетекші ғылыми қызметкері; (Scopus h-10)

**Sezgin AYAN** — доктор профессор, Кастамону университеті, орман шаруашылығы факультеті, орман шаруашылығы бөлімінің меңгерушісі (Түркия); (Scopus h-14)

**Шульц Роман Владимирович** — PhD, профессор. Король Фадх атындағы Мұнай және минералдар университеті, Сауд Арабиясы; (Scopus h-11)

**Астанакулов Комил Дуллиевич** — техника ғылымдарының докторы. Өзбекстанның «Ташкент ирригация және ауыл шаруашылығын механикаландыру инженерлері институты» Ұлттық зерттеу университетінің «Ауыл шаруашылығы техникасы және технологиясы» кафедрасының меңгерушісі; (Scopus h-20)

**Нукешов Саяхат Оразович** — техника ғылымдарының докторы, профессор. С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті. «Техникалық механика» кафедрасының профессоры; (Scopus h-8)

**Хазимов Марат Жалелович** — техника ғылымдарының кандидаты. Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, «Энергетика және электротехника» кафедрасының профессоры; (Scopus h-5)

**Daskalov Plamen** — PhD, профессор, Ангел Кънчев атындағы Русе Университеті, даму, үйлестіру және біліктілікті арттыру жөніндегі проректор, Болгария; (Scopus h-10)

**Бердышев Абдурахим Сулейманович** — техника ғылымдарының докторы, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, «Энергетика және электротехника» кафедрасының профессоры; (Scopus h-8)

**Остриков Анатолий Николаевич** — техника ғылымдарының докторы, профессор. Воронеж мемлекеттік инженерлік технологиялар университеті (РФ), «Химиялық және тамақ өндірісінің процестері мен аппараттары» кафедрасының меңгерушісі; (Scopus h-7)

**Ливню Гачео** — профессор Трансильван университетінің профессоры (Брашов к., Румыния); (Scopus h-9)

**Тимурбекова Айгуль Кулахметовна** — техника ғылымдарының кандидаты. Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, «Тамақ өнімдерінің технологиясы және қауіпсіздігі» кафедрасының профессоры; (Scopus h-9)

**Тойшиманов Максат Рисбекович** — PhD, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, «Тамақ өнімдерінің технологиясы және қауіпсіздігі» кафедрасының аға оқытушысы; (Scopus h-8)

**Кененбай Гүлмира Серікбайқызы** — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор (доцент). «Қазақ қайта өңдеу және тамақ өнеркәсібі ғылыми-зерттеу институты» ЖШС; (Scopus h-5)

«Зерттеулер, нәтижелер» ғылыми журналы

Жиілігі: жылына 6 шығарылым.

Басылым тілі: қазақ, орыс, ағылшын.

Префикс DOI: 10.37884

ISSN: 2304-3334.

Тақырыптық бағыты: «мал шаруашылығы және ветеринария»; «егіншілік, агрохимия, жемшөп өндірісі, агроэкология»; «су, жер және орман ресурстары»; «ауыл шаруашылығын механикаландыру және электрлендіру».

Тарату: материалдар Creative Commons Attribution 4.0 лицензиясы бойынша таратылады

Веб-сайт: <https://journal.kaznaru.edu.kz>

Құрылтайшысы / баспагері: Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті; Қазақстан Республикасы Президентінің жанындағы Қазақстан Республикасының Ұлттық Ғылым академиясы

Авторлық құқық: © Зерттеулер, нәтижелер, 2026

**РЕДАКЦИЯ****ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:**

**Куришбаев Ахылбек Кажигулович** — главный редактор, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Президент Национальной академии наук РК при Президенте РК, академик; (Scopus h-9)

**ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:**

**Ибрагимов Примкул Шолпанкулович** — заместитель главного редактора, доктор ветеринарных наук, профессор; (Scopus h-3)

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**Сансызбай Абылай Рыспаевич** — доктор ветеринарных наук, профессор. Казахский национальный аграрный исследовательский университет; (Scopus h-16)

**Сарсембаева Нуржан Білтебайқызы** — доктор ветеринарных наук, профессор. Казахский национальный аграрный исследовательский университет; (Scopus h-8)

**Султанов Ахметжан Акиевич** — доктор ветеринарных наук, профессор, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, директор департамента науки; (Scopus h-12)

**Sobiech Przemyslaw Hubert** — доктор ветеринарных наук, профессор. Варминьско-Мазурский университет в Ольштыне, Польша; (Scopus h-12)

**Богоявленский Андрей Павлинович** — доктор биологических наук, профессор. ТОО «Научно-производственный центр микробиологии и вирусологии»; (Scopus h-16)

**Iancu Ionica Mihaela** — доцент, PhD. Факультет ветеринарной медицины Университета сельскохозяйственных наук и ветеринарной медицины Баната имени короля Михая I (г. Тимишоара, Румыния). Области специализации: ветеринарные науки, микробиология, инфекционные заболевания, антимикробная резистентность; (Web of Science – 8).

**Jan MICIŃSKI** — PhD, Варминьско-Мазурский университет, Польша; (Scopus h-8)

**Тореханов Айбын Адепханович** — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Председатель правления ТОО «Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства»; (Scopus h-3)

**Исхан Кайрат Жәлелұлы** — кандидат сельскохозяйственных наук. Казахский национальный аграрный исследовательский университет, профессор кафедры «Биология животных» имени академика Н. О. Базановой; (Scopus h-4)

**Адылканова Шолпан Рахимбековна** — доктор сельскохозяйственных наук. Казахский национальный аграрный исследовательский университет, профессор кафедры зооинженерии и биотехнологии; (Scopus h-5)

**Корай Кырыкчы** — доктор сельскохозяйственных наук. Профессор кафедры зоотехнии факультета сельского хозяйства Университета Ахи Эвран (Турция); (Scopus h-6)

**Айтбаев Темиржан Еркасович** — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик, Председатель Правления ТОО «Казахский НИИ плодовоовощеводства»; (Scopus h-5)

**Бастаубаева Шолпан Оразовна** — кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор. Председатель правления ТОО «Казахский НИИ земледелия и растениеводства»; (Scopus h-8)

**Дүйсембеков Бахытжан Әлішерович** — кандидат биологических наук, Председатель правления ТОО «Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений имени Жазкена Жиембаева»; (Scopus h-7)

**Дутбаев Ерлан Бозанбайұлы** — кандидат сельскохозяйственных наук. Казахский национальный аграрный исследовательский университет. Ассоциированный профессор кафедры плодовоовощеводства, защиты и карантина растений; (Scopus h-9)

**Жаппарова Айгул Абсултановна** — кандидат сельскохозяйственных наук, профессор. Казахский национальный аграрный исследовательский университет. Профессор кафедры почвоведения, агрохимии и экологии; (Scopus h-6)

**Канаев Ашимхан Токтасынович** — доктор биологических наук, профессор. Казахский национальный аграрный исследовательский университет. Профессор кафедры почвоведения, агрохимии и экологии; (Scopus h-4)

**Fabián G.Fernández** — доктор философии, профессор. Профессор Университета Миннесоты (Соединённые Штаты Америки); (Scopus h-28)

**Elmira Saljnikov** — доктор философии, профессор. Университет Белграда, Белград, Сербия. Научный сотрудник (профессор) Института многопрофильных исследований; (Scopus h-14)

**Наушабаев Асхат Хамитович** — PhD, Казахский национальный аграрный исследовательский университет. Ассоциированный профессор кафедры «Почвоведение, агрохимия и экология»; (Scopus h-4)

**Wenfeng Liu** — PhD, профессор. Китайский сельскохозяйственный университет (China Agricultural University); (Scopus h-39)

**Хамидов Мухамадхан** — доктор сельскохозяйственных наук, профессор. Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Узбекистан; (Scopus h-14)

- Алдиярова Айнура Есиркеповна** — PhD, ассоциированный профессор. Казахский национальный аграрный исследовательский университет; (Scopus h-4)
- Ануарбеков Канат Курманович** — PhD, ассоциированный профессор. Казахский национальный аграрный исследовательский университет; (Scopus h-5)
- Мадиебеков Азамат Сансызбаевич** — PhD, ассоциированный профессор. Руководитель лаборатории «Гидрохимия и экологическая токсикология», Институт географии и водной безопасности; (Scopus h-8)
- Сарсекова Дани Нургисаевна** — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Декан факультета «Лесное хозяйство и земельные ресурсы»; (Scopus h-8)
- Жилдикбаева Айжан Наскеновна** — PhD, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, ассоциированный профессор кафедры «Земельные ресурсы и кадастр»; (Scopus h-7)
- Досманбетов Данияр Ахметович** — PhD, ассоциированный профессор, ведущий научный сотрудник Алматинского филиала ТОО «Научноисследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации имени Э.Н. Бөкейхана»; (Scopus h-10)
- Sezgin AYAN** — доктор профессор, Кастамону университет, факультет лесного хозяйства, заведующий отделом лесоводства (Турция); (Scopus h-14)
- Шульц Роман Владимирович** — PhD, профессор. Университет нефти и минералов имени короля Фадха, Саудовская Аравия; (Scopus h-11)
- Астанакулов Комил Дуллиевич** — доктор технических наук. Заведующей кафедры «Сельскохозяйственные техники и технологии» Национального исследовательского университета «Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», Узбекистан; (Scopus h-20)
- Нукешов Саяхат Оразович** — доктор технических наук, профессор. Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина. Профессор кафедры «Техническая механика»; (Scopus h-8)
- Хазимов Марат Жалелович** — кандидат технических наук. Казахский национальный аграрный исследовательский университет, профессор кафедры «Энергетика и электротехника»; (Scopus h-5)
- Daskalov Plamen** — PhD, профессор, Университет Русе имени Ангела Кънчева, проректор по вопросам развития, координации и повышения квалификации, Болгария; (Scopus h-10)
- Бердышев Абдурахим Сулейманович** — доктор технических наук, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, профессор кафедры «Энергетика и электротехника»; (Scopus h-8)
- Остриков Анатолий Николаевич** — доктор технических наук, профессор. Воронежский государственный университет инженерных технологий (РФ), заведующий кафедрой «Процессы и аппараты химических и пищевых производств»; (Scopus h-7)
- Ливию Гачео** — профессор Трансильванского университета (г. Брашов, Румыния); (Scopus h-9)
- Тимурбекова Айгуль Кулахметовна** — кандидат технических наук. Казахский национальный аграрный исследовательский университет, профессор кафедры «Технология и безопасность пищевых продуктов»; (Scopus h-9)
- Тойшиманов Максат Рисбекович** — PhD, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, старший преподаватель кафедры «Технология и безопасность пищевых продуктов»; (Scopus h-8)
- Кененбай Гүлмира Серікбайқызы** — кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент). ТОО «Казахский научноисследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности»; (Scopus h-5)

Научный журнал «Исследования, результаты»

Периодичность: 6 выпусков в год.

Язык издания: казахский, русский, английский.

Префикс DOI: 10.37884

ISSN: 2304-3334.

Тематическая направленность: «животноводство и ветеринария»; «земледелие, агрохимия, кормопроизводство, агроэкология»; «водные, земельные и лесные ресурсы»; «механизация и электрификация сельского хозяйства».

Распространение: материалы распространяются по лицензии Creative Commons Attribution 4.0

Веб-сайт: <https://journal.kaznaru.edu.kz>

Учредитель/издатель: Казахский национальный аграрный исследовательский университет; Национальная академия наук Республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан

Авторские права: © Исследования, результаты, 2026

## CONTENTS

### STOCK-RAISING AND VETERINARY

|                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>G.G. Gabit, D.M. Bekenov, J. Micinski</b><br>THE INFLUENCE OF REPRODUCTION METHOD ON MEAT PRODUCTIVITY AND SLAUGHTER CHARACTERISTICS OF<br>HEREFORD BULLS .....                     | 8  |
| <b>K. Dossybayev, S. Dikhanbay, A.T. Kozhakhmet, U.A. Akhmetov</b><br>ASSESSMENT OF GENETIC DIVERSITY AND POPULATION STRUCTURE OF ADAI HORSE POPULATIONS BASED ON STR<br>MARKERS ..... | 21 |
| <b>G.M. Zhumagaliyeva, B.K. Sansyzybayeva, R. Kadyken, A.D. Orakbayeva</b><br>EARLY PRELIMINARY ASSESSMENT OF BREEDING QUALITIES OF SOUTH KAZAKH MERINO SHEEP .....                    | 37 |
| <b>T.N. Karymsakov, A.A. Torehanov, B.B. Yergali, D.D. Atageldiyev</b><br>ASSESSMENT OF THE BODY TYPE OF BREEDING BULL CALVES WHEN TESTING THEM FOR THEIR OWN PRODUCTIVITY ....        | 49 |

### AGRICULTURE, AGROCHEMICAL, FEED PRODUCTION, AGROECOLOGICAL

|                                                                                                                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Zh. Abilda, Z. Sapakhova, I. Isgandarov, I. Klein, M. Shamekova</b><br>THE USE OF COMPUTATIONAL METHODS FOR MODELING WATER-SOIL EROSION: THE CASE OF UST-KAMENOGORSK .....                                                     | 63  |
| <b>D.E. Yerzhan, A.K. Kurishbayev, V.I. Kiryushin, Zh.S. Almanova</b><br>AGROECOLOGICAL VERIFICATION OF NDVI PRODUCTIVITY ZONES OF SOUTHERN CHERNOZEMS .....                                                                      | 74  |
| <b>M.M. Zhanzakov, K.A. Myrzabek, K.B. Begaliev, R.D. Nurymova</b><br>TECHNOLOGY OF CULTIVATING AND PROPAGATING BANANAS RHIZOMES A POLYCARBONATE GREENHOUSE<br>COMPLEX .....                                                      | 90  |
| <b>G.N. Kairova, G.A. Suleimanova, A.N. Makhambetov, Recep Ay, G.Z. Zholdasbek</b><br>PREVALENCE AND DEVELOPMENT CHARACTERISTICS OF THE ORIENTAL FRUIT MOTH (GRAPHOLITA MOLESTA (BUSCK))<br>IN THE SOUTH-EAST OF KAZAKHSTAN ..... | 104 |
| <b>M.T. Kumarbayeva, A.M. Kokhmetova, Zh.S. Keishilov, A.I. Kharipzhanova, N.M. Kovalenko</b><br>FIELD EVALUATION OF KASIB WHEAT GERMPLASM FOR DROUGHT TOLERANCE IN KAZAKHSTAN .....                                              | 117 |
| <b>A.I. Sidorik, G.A. Zvyagin, K.P. Buzovskiy, A.D. Sidorik</b><br>COMPARATIVE ASSESSMENT OF SPRING WHEAT RESPONSE TO FOLIAR TREATMENTS IN THE KOSTANAY REGION .....                                                              | 129 |

### WATER, LAND AND FOREST RESOURCES

|                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>G.L. Akhilebekov, S.A. Konarova, G.K. Ismailova, A.N. Aldiyarova</b><br>GIS-BASED ASSESSMENT OF IRRIGATED AGRICULTURAL LAND PRODUCTIVITY USING SENTINEL-2 NDVI, ESBK, AND FDEI<br>INDICATORS: A CASE STUDY OF SARYAGASH DISTRICT, TURKESTAN REGION, KAZAKHSTAN ..... | 146 |
| <b>N.M. Ashimkhan, A.K. Igembaeva, A.N. Zhildikbaeva, R. Puziene</b><br>ANALYSIS OF THE SYSTEM OF EFFECTIVE USE OF AGRICULTURAL LAND IN ALMATY REGION BASED ON<br>GEOINFORMATION TECHNOLOGY .....                                                                       | 157 |
| <b>A.M. Yermenbay, A.Zh. Zhakibaeva, G.E. Tukeshova, A.M. Jabassov, A.K. Alimgazina</b><br>JUSTIFICATION FOR THE CREATION OF LARGE UNDERGROUND RESERVOIRS IN CENTRAL KAZAKHSTAN USING MANAGED<br>AQUIFER RECHARGE .....                                                 | 168 |
| <b>B.I. Nurmukhambetova, Ye.Zh. Murtazim, S.R. Tazhiyev, M.Zh. Akynbayeva</b><br>ON THE EFFICIENT EXTRACTION OF LITHIUM FROM NATURAL BRINES .....                                                                                                                       | 179 |
| <b>A. Tangirbergenova, K. Kaliyeva, Sh. Kapar, Zh. Zhakupova</b><br>EFFICIENCY OF PHYSICOCHEMICAL METHODS FOR IMPROVING WELL WATER QUALITY .....                                                                                                                        | 191 |
| <b>D.A. Tlesh, B. Khalkhabay</b><br>APPLICATION OF SLOW SAND FILTRATION FOR PROVIDING DRINKING WATER IN SMALL SETTLEMENTS .....                                                                                                                                         | 200 |

### AGRICULTURE MECHANIZATION AND ELECTRIFICATION

|                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>K. Kalym, Sh.T. Duisenova, S.T. Demesova, A.K. Zhunusova</b><br>EXPERIMENTAL EQUIPMENT FOR STORING SOYBEAN GRAINS WITH ACTIVE VENTILATION .....                                                                              | 208 |
| <b>D. Karmanov, Zh. Zhumagulov, Y. Sarkynov, R. Kassimova</b><br>ENGINEERING OPTIMIZATION AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF A ROTARY UNIT FOR PRE-SOWING SOIL TILLAGE<br>AND SEED SOWING FOR SOILS OF SOUTHERN KAZAKHSTAN ..... | 221 |

## МАЗМҰНЫ

### МАЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ЖӘНЕ ВЕТЕРИНАРИЯ

|                                                                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Г.Ғ. Ғабит, Д.М. Бекенов, Ян Мичинский</b><br>ГЕРЕФОРД ТҰҚЫМДЫ БҰҚАШЫҚТАРДЫҢ ЕТ ӨНІМДІЛІГІ МЕН СОЙЫС САПАСЫНА КӨБЕЮ ӘДІСІНІҢ ӘСЕРІ .....                                                | 8  |
| <b>К.Ж. Досыбаев, С. Диханбай, А.Т. Қожахмет, У.А. Ахметов</b><br>STR МАРКЕРЛЕРІ НЕГІЗІНДЕ АДАЙ ЖЫЛҚЫСЫ ПОПУЛЯЦИЯЛАРЫНЫҢ ГЕНЕТИКАЛЫҚ ӨРТҮРЛІГІ МЕН<br>ПОПУЛЯЦИЯЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМЫН БАҒАЛАУ ..... | 21 |
| <b>Г.М. Жумағалиева, Б.Қ. Сансызбаева, Р. Қадыкен, А.Д. Орақбаева</b><br>ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚ МЕРИНОС ҚОЙ ТҰҚЫМЫНЫҢ АСЫЛ ТҰҚЫМДЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЕРТЕ ЖАСТАН АЛДЫН АЛА<br>БАҒАЛАУ .....             | 37 |
| <b>Т.Н. Карымсаков, А.А. Төреханов, Б.Б. Ерғали, Д.Д. Атагелдиев</b><br>ӨНІМДІЛІГІН СЫНАУ КЕЗІНДЕ ӨСІРУГЕ АРНАЛҒАН БҰҚА ТӨЛДЕРІНІҢ ДЕНЕ БІТІМІН БАҒАЛАУ .....                              | 49 |

### АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ, АГРОХИМИЯ, АЗЫҚ ӨНДІРУ, АГРОЭКОЛОГИЯ

|                                                                                                                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Ж. Әбілда, З. Сапахова, И. Игандаров, И. Кляйн, М. Шамекова</b><br>ӨСКЕМЕН ҚАЛАСЫ МЫСАЛЫНДА СУ ТОПЫРАҚ ЭРОЗИЯСЫН МОДЕЛЬДЕУДІҢ ЕСЕПТІК ӘДІСТЕМЕЛЕРІН ҚОЛДАНУ .....                                              | 63  |
| <b>Д.Е. Ержан, А.К. Қуришбаев, В.И. Кирюшин, Ж.С. Алманова</b><br>ОҢТҮСТІК ҚАРА ТОПЫРАҚТАРДАҒЫ NDVI БОЙЫНША ӨНІМДІЛІК АЙМАҚТАРЫН АГРОЭКОЛОГИЯЛЫҚ<br>ВЕРИФИКАЦИЯЛАУ .....                                          | 74  |
| <b>М.М. Жанзақов, К.А. Мырзабек, Қ.Б. Бегалиев, Р.Д. Нұрымова</b><br>БАНАН ӨСІМДІГІН ПОЛИКАРБОНАТТЫ ЖЫЛЫЖАЙДА ӨСІРУ ЖӘНЕ ТАМЫРӨСКІНІМЕН КӨБЕЙТУ .....                                                             | 90  |
| <b>Г.Н. Каирова, Г.А. Сулейманова, Ә.Н. Махамбетов, Реджеп Ай, Г.Ж. Жолдасбек</b><br>ҚАЗАҚСТАННЫҢ ОҢТҮСТІК-ШЫҒЫСЫНДАҒЫ ШЫҒЫС ЖЕМІС ЖЕМІРІНІҢ (GRAPHOLITA MOLESTA (BUSCK)) ТАРАЛУЫ<br>МЕН ДАМУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ ..... | 104 |
| <b>М.Т. Кумарбаева, А.М. Кохметова, Ж.С. Кеишилов, А.І. Харіпжанова, Н.М. Коваленко</b><br>ҚАЗАҚСТАНДА КАСИБ БИДАЙ КОЛЛЕКЦИЯСЫНЫҢ ҚҰРҒАҚШЫЛЫҚҚА ТӨЗІМДІЛІГІН ДАЛАЛЫҚ БАҒАЛАУ .....                                | 117 |
| <b>А.И. Сидорик, Г.А. Звягин, К.П. Бузовский, А.Д. Сидорик</b><br>ҚОСТАНАЙ ОБЛЫСЫНДА ЖАЗДЫҚ БИДАЙДЫҢ ЖАПЫРАҚТЫҚ ӨНДЕУЛЕРГЕ ЖАУАП РЕАКЦИЯСЫН САЛЫСТЫРМАЛЫ<br>БАҒАЛАУ .....                                         | 129 |

### СУ, ЖЕР ЖӘНЕ ОРМАН РЕСУРСТАРЫ

|                                                                                                                                                                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Ғ.Л. Ахилбеков, С.А. Конарова, Г.К. Исмаилова, А.Е. Алдиярова</b><br>SENTINEL-2 NDVI, ESBK ЖӘНЕ FDEI КӨРСЕТКІШТЕРІ НЕГІЗІНДЕ СУАРМАЛЫ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ЖЕРЛЕРІНІҢ<br>ӨНІМДІЛІГІН ГАЖ АРҚЫЛЫ БАҒАЛАУ: ТҮРКІСТАН ОБЛЫСЫ САРЫАҒАШ АУДАНЫ МЫСАЛЫНДА ..... | 146 |
| <b>Н.М. Әшімхан, А.К. Игембаева, А.Н. Жилдикбаева, Р. Пузнене</b><br>ГЕОАКПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯ НЕГІЗІНДЕ АЛМАТЫ ОБЛЫСЫНДАҒЫ АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ ЖЕРЛЕРІН ТИІМДІ<br>ПАЙДАЛАНУ ЖҮЙЕСІН ТАЛДАУ .....                                                              | 157 |
| <b>А.М. Ерменбай, А.Ж. Жакибаева, Г.Е. Тукешова, А.М. Джабасов, А.К. Әлімғазина</b><br>ОРТАЛЫҚ ҚАЗАҚСТАНДА ЖАСАНДЫ ТОЛЫҚТЫРУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ІРІ ЖЕР АСТЫ СУ ҚОЙМАЛАРЫН<br>ҚҰРУДЫҢ НЕГІЗДЕМЕСІ .....                                           | 168 |
| <b>Б.И. Нұрмұхамбетова, Е.Ж. Мұртазин, С.Р. Тажиев, М.Ж. Акынбаева</b><br>ТАБИҒИ ТҮЗДЫ СУЛАРДАН ЛИТИЙДІҢ ТИІМДІ АЛУ ТУРАЛЫ .....                                                                                                                         | 179 |
| <b>А.С. Тангирбергенова, К.Е. Калиева, Ш.К. Капар, Ж.З. Жакупова</b><br>ҚҰДЫҚ СУЫНЫҢ САПАСЫН ЖАҚСARTУДА ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРДІҢ ТИІМДІЛІГІ .....                                                                                                      | 191 |
| <b>Д.Ә. Тлеш, Б. Халхабай</b><br>ШАҒЫН ЕЛДІ МЕКЕНДЕРДІ АУЫЗ СУМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ҮШІН БАЯУ ҚҰМДЫ СҮЗГІЛЕРДІ ҚОЛДАНУ .....                                                                                                                                | 200 |

### АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫН МЕХАНИКАЛАНДЫРУ ЖӘНЕ ЭЛЕКТРЛЕНДІРУ

|                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>К. Калым, Ш.Т. Дуйсенова, С.Т. Демесова, А.К. Жунусова</b><br>БЕЛСЕНДІ ЖЕЛДЕТУ ЖҮЙЕСІ БАР СОЯ ДӨНДЕРІН САҚТАУҒА АРНАЛҒАН ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЖАБДЫҚ .....                                                                                                         | 208 |
| <b>Д.К. Карманов, Ж.Б. Жумагулов, Е. Саркынов, Р.М. Касимова</b><br>ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН Өңірінің топырақтарына арналған егіс алдындағы топырақ өңдеу және тұқым се-<br>буге арналған роторлы агрегатты инженерлік оңтайландыру және эксперименттік зерттеу ..... | 221 |

## СОДЕРЖАНИЕ ЖИВОТНОВОДСТВО И ВЕТЕРИНАРИЯ

|                                                                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Г.Г. Ғабит, Д.М. Бекенов, Ян Мичинский<br>ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ВОСПРОИЗВОДСТВА НА МЯСНУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ И УБОЙНЫЕ КАЧЕСТВА БЫЧКОВ<br>ГЕРЕФОРДСКОЙ ПОРОДЫ .....                            | 8  |
| К.Ж. Досыбаев, С. Диханбай, А.Т. Кожакмет, У.А. Ахметов<br>ОЦЕНКА ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ И ПОПУЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПОПУЛЯЦИЙ ЛОШАДЕЙ ПОРОДЫ АДАЙ<br>НА ОСНОВЕ STR-МАРКЕРОВ ..... | 21 |
| Г.М. Жумагалеева, Б.Қ. Сансызбаева, Р. Қадыкен, А.Д. Орақбаева<br>РАННЯЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПЛЕМЕННЫХ КАЧЕСТВ ОВЕЦ ЮЖНО-КАЗАХСКОЙ МЕРИНОСНОЙ ПОРОДЫ .....                        | 37 |
| Т.Н. Карымсаков, А.А. Тореханов, Б.Б. Ергали, Д.Д. Атагелдиев<br>ОЦЕНКА ТИПА ТЕЛОСЛОЖЕНИЯ РЕМОНТНЫХ БЫЧКОВ ПРИ ИСПЫТАНИИ ПО СОБСТВЕННОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ .....                         | 49 |

## ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, КОРМОПРОИЗВОДСТВО, АГРОЭКОЛОГИЯ

|                                                                                                                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ж. Абилда, З. Сапахова, И. Исгандаров, И. Кляйн, М. Шамекова<br>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДИК МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОДНОЙ ПОЧВЕННОЙ ЭРОЗИИ НА ПРИМЕРЕ<br>Г. УСТЬ-КАМЕНОГОРСК .....                                | 63  |
| Д.Е. Ержан, А.К. Куришбаев, В.И. Кирюшин, Ж.С. Алманова<br>АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ NDVI-ЗОН ПРОДУКТИВНОСТИ ЮЖНЫХ ЧЕРНОЗЁМОВ .....                                                                      | 74  |
| М.М. Жанзаков, К.А. Мырзабек, К.Б. Бегалиев, Р.Д. Нурымова<br>ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ И РАЗМНОЖЕНИЯ БАНАНА КОРНЕВИЩАМИ В ПОЛИКАРБОНАТНОМ ТЕПЛИЧНОМ<br>КОМПЛЕКСЕ .....                                        | 90  |
| Г.Н. Каирова, Г.А. Сулейманова, А.Н. Махамбетов, Реджеп Ай, Г.Ж. Жолдасбек<br>РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ И ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ВОСТОЧНОЙ ПЛОДОЖОРКИ (GRAPNOLITA MOLESTA (BUSCK)) НА<br>ЮГО-ВОСТОКЕ КАЗАХСТАНА ..... | 104 |
| М.Т. Кумарбаева, А.М. Кохметова, Ж.С. Кеншилов, А.І. Харіпжанова, Н.М. Коваленко<br>ПОЛЕВАЯ ОЦЕНКА ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ КОЛЛЕКЦИИ ПШЕНИЦЫ КАСИБ В КАЗАХСТАНЕ .....                                             | 117 |
| А.И. Сидорик, Г.А. Звягин, К.П. Бузовский, А.Д. Сидорик<br>СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОТКЛИКА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ЛИСТОВЫЕ ОБРАБОТКИ В КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ ...                                                      | 129 |

## ВОДНЫЕ, ЗЕМЕЛЬНЫЕ И ЛЕСНЫЕ РЕСУРСЫ

|                                                                                                                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ғ.Л. Ахилбеков, С.А. Конарова, Г.К. Исмаилова, А.Е. Алдиярова<br>ГИС-ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ ОРОШАЕМЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ НА ОСНОВЕ ИНДИКАТОРОВ<br>SENTINEL-2 NDVI, ESBK И FDEI: НА ПРИМЕРЕ САРЯГАШСКОГО РАЙОНА ТУРКЕСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ ..... | 146 |
| Н.М. Әшімхан, А.К. Игембаева, А.Н. Жилдикбаева, Р. Пузиене<br>АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ<br>В АЛМАТИНСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ .....                              | 157 |
| А.М. Ерменбай, А.Ж. Жакибаева, Г.Е. Тукешова, А.М. Джабасов, А.К. Алимгазина<br>ОБОСНОВАНИЕ СОЗДАНИЯ КРУПНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ В ЦЕНТРАЛЬНОМ КАЗАХСТАНЕ МЕТОДАМИ<br>ИСКУССТВЕННОГО ВОСПОЛНЕНИЯ ЗАПАСОВ .....                                  | 168 |
| Б.И. Нурмухамбетова, Е.Ж. Муртазин, С.Р. Тажиев, М.Ж. Акынбаева<br>ОБ ЭФФЕКТИВНОМ ИЗВЛЕЧЕНИИ ЛИТИЯ ИЗ ПРИРОДНЫХ РАССОЛОВ .....                                                                                                                     | 179 |
| А.С. Тангирбергенова, К.Е. Калиева, Ш.К. Капар, Ж.З. Жакупова<br>ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА КОЛОДЕЗНОЙ ВОДЫ .....                                                                                                  | 191 |
| Д.Ә. Тлеш, Б. Халхабай<br>ПРИМЕНЕНИЕ МЕДЛЕННОЙ ПЕСЧАНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДОЙ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ<br>ПУНКТОВ .....                                                                                                                | 200 |

## МЕХАНИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

|                                                                                                                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| К. Калым, Ш.Т. Дуйсенова, С.Т. Демесова, А.К. Жунусова<br>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ СОЕВЫХ ЗЕРЕН С АКТИВНОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ .....                                                                                     | 208 |
| Д.К. Карманов, Ж.Б. Жумагулов, Е. Саркынов, Р.М. Касимова<br>ИНЖЕНЕРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РОТОРНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ<br>ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ПОСЕВА СЕМЯН ДЛЯ ПОЧВ ЮЖНОГО РЕГИОНА КАЗАХСТАНА ..... | 221 |

STOCK-RAISING AND VETERINARY  
МАЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ЖӘНЕ ВЕТЕРИНАРИЯ  
ЖИВОТНОВОДСТВО И ВЕТЕРИНАРИЯ

RESEARCH, RESULTS – ІЗДЕНІСТЕР, НӘТИЖЕЛЕР – ИССЛЕДОВАНИЯ, РЕЗУЛЬТАТЫ

ISSN 2304-3334 (print)

Vol. 28. Is. 4. Number 112 (2026). Pp. 8–20

Journal homepage: <https://journal.kaznaru.edu.kz><https://doi.org/10.37884/4-2026/01>

IRSTI / FTAXP / МРНТИ / 68.39.29



**G.G. Gabit<sup>1</sup>, D.M. Bekenov<sup>\*2</sup>, J. Micinski<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>NJSC “Kazakh National Agrarian Research University”, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>LLP “Scientific and Production Center for Animal Husbandry and Veterinary Medicine”, Astana, Kazakhstan;

<sup>3</sup>University of Warmia and Mazury, Olsztyn, Poland.

E-mail: [ironlan-1983@inbox.ru](mailto:ironlan-1983@inbox.ru)

THE INFLUENCE OF REPRODUCTION METHOD ON MEAT PRODUCTIVITY AND  
SLAUGHTER CHARACTERISTICS OF HEREFORD BULLS

**Gabit Gulzat Gabitovna**, candidate of agricultural sciences, senior lecturer of the department of «Zooengineering and biotechnology», NAO «Kazakh National Agrarian Research University», Republic of Kazakhstan, 050013, Almaty, Abay str. 28

E-mail: [gabitgulzat\\_07@mail.ru](mailto:gabitgulzat_07@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4083-4010>;

**Bekenov Dauren Maratovich**, Master of Natural Sciences and Biotechnology, laureate of the Al-Farabi State Prize in Science and Technology, Senior Researcher, Scientific and Production Center for Animal Husbandry and Veterinary Medicine LLP, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, Kenesary Street, 40, Business Center «7th Continent», 14th floor, office 1418;

E-mail: [ironlan-1983@inbox.ru](mailto:ironlan-1983@inbox.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2244-0878>;

**Jan Miciński**, Habilitated Doctor (dr hab.) of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Sheep and Goat Breeding at the Faculty of Animal Bioengineering at the University of Warmia and Mazury, Poland, 10-719, Olsztyn, ul. Michała Oczapowskiego 5, room 139A

E-mail: [micinski.jan.63@gmail.com](mailto:micinski.jan.63@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-3167-5476>.

**Abstract. Introduction.** Artificial insemination in beef cattle farming is the most effective method for the genetic improvement of breeding stock. Artificial insemination of beef breeds has been widely used in Kazakhstan over the last 10 years to improve the genetic quality of commercial herds in the beef cattle sector. One of the key challenges facing livestock farmers is meeting the country's population's demand for nutritious food, and in particular, meat. In this regard, increasing the production of high-quality beef from breeding stock with high genetic potential is one of the pressing tasks of modern livestock farming development. *Materials and methods.* The intensification of the entire production process and the widespread adoption of scientifically developed advanced technologies, based on achievements in the fields of animal feeding, husbandry and reproduction, represent the optimal solution to this challenge. It is equally important to seek out more advanced techniques and methods for increasing the productivity of beef cattle, including through the improvement of breeds by selecting parent pairs. This article presents a comparative analysis of the impact on productive and slaughter performance between Hereford bull calves conceived naturally and those conceived via artificial insemination. *Results and discussion.* The results of scientific studies on the influence of genetic and reproductive factors on live weight, pre-slaughter weight, meat productivity, carcass yield, morphological and genetic parameters are presented. Particular attention is paid to evaluation and selection methods, as well as the relationship between reproductive technologies and meat characteristics. The data from the studies demonstrate that artificial insemination of

breeding-age Hereford cows and heifers has a positive effect on the slaughter and meat performance of the offspring. Improvements in pre-slaughter weight, carcass yield and meat productivity are achievable through the use of artificial insemination with optimal sire selection and breeding programmes. *Conclusions.* Genetic parameters indicate the potential for rapid genetic progress in traits important for meat production.

**Keywords:** slaughter qualities, meat productivity, Hereford breed, bull calves, reproduction, artificial insemination, genetic potential, live weight, carcass yield

**For citation:** Gabit G.G., Bekenov D.M., Micinski J. (2026). The influence of reproduction method on meat productivity and slaughter characteristics of hereford bulls // Research, results – Изденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 8–20. <https://doi.org/10.37884/4-2026/01> [In Russ.].

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

**Acknowledgements:** *The authors of this scientific article would like to express their sincere gratitude to the management and staff of Dinara-Ranch Agricultural Firm LLP for providing the opportunity to conduct scientific research on the reproduction and collection of data on the meat productivity of Hereford cattle offspring.*

**G.F. Gabit<sup>1</sup>, D.M. Bekenov<sup>\*2</sup>, Ян Мичинский<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>«Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КЕАҚ, Алматы, Қазақстан;

<sup>2</sup>«Мал шаруашылығы және ветеринария ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС, Астана, Қазақстан;

<sup>3</sup>Вармия-Мазур университеті, Ольштын, Польша.

E-mail: ironlan-1983@inbox.ru

## ГЕРЕФОРД ТҰҚЫМДЫ БҰҚАШЫҚТАРДЫҢ ЕТ ӨНІМДІЛІГІ МЕН СОЙЫС САПАСЫНА КӨБЕЮ ӘДІСІНІҢ ӘСЕРІ

**Габит Гүлзат Габитқызы**, ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, «Зооинженерия және биотехнология» кафедрасының аға оқытушысы, «Қазақ Ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КеАҚ, 050013, Абай көш., 28, Алматы, Қазақстан

E-mail: gabitgulzat\_07@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4083-4010>;

**Бекенов Дәурен Маратұлы**, жаратылыстану ғылымдары және биотехнология магистрі, ғылым және техника саласындағы әл-Фараби атындағы Мемлекеттік сыйлықтың лауреаты, «Мал шаруашылығы және ветеринария ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС-нің аға ғылыми қызметкері, 010000, көш. Кенесары, 40, «7-ші континент» Бизнес орталығы, 14-қабат, кеңсе. 1418, Астана, Қазақстан

E-mail: ironlan-1983@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2244-0878>;

**Ян Мичинский**, ауылшаруашылық ғылымдарының докторы (доктор хаб.), доцент, Вармия және Мазури университетінің жануарлар биоинженериясы факультетінің қой және ешкі шаруашылығы кафедрасының меңгерушісі, Польша, 10-719, Ольштын, Michala Oczapowskiego 5, бөлме 139А

E-mail: micinski.jan.63@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3167-5476>.

**Аннотация.** *Kipicne.* Ет бағытындағы ірі қара шаруашылығында қолданылатын жасанды ұрықтандыру – табындағы малдың генетикалық сапсын жақсартудың ең тиімді әдістерінің бірі болып табылады. Соңғы он жыл ішінде Қазақстанда еті бағыттағы ірі қара малдың коммерциялық табындарын генетикалық тұрғыдан жетілдіру мқсатында жасанды ұрықтандыру кеңінен қолданылып келеді. Мал шаруашылығы саласында тұрған маңызды міндеттердің бірі – халықты сапаслы азық-түлік өнімдерімен, әсіресе, ет өнімдерімен қамтамасыз ету. Осыған байланысты жоғары генетикалық әлеуеті бар асыл тұқымды малдан алынатын сапалы сиыр етін өндіруді арттыру қазіргі заманғы мал шаруашылығын дамытудың өзекті мәселелерінің бірі болып табылады. *Материалдар мен әдістер.* Өндіріс үдерісін қарқынды дамыту, күтіп-бағу жән малды көбейту технологияларын кеңінен енгізу – қойылған міндеттерді шешудің тиімді жолы болып табылады. Сонымен қатар, ет бғытындағы ірі қара малдың өнімділігін арттыру үшін жаңа әдістер мен тәсілдерді іздестіру, оның ішінде ата-аналық жұптарды дұрыс іріктеу арқылы тұқымды жетілдіру маңызды рөл атқарады. Мақалада табиғи жолмен және жасанды ұрықтандыру әдісі арқылы алынған герефорд тұқымды бұқашықтардың өнімділік және сойыс көрсеткіштеріне салыстырмалы талдау жүргізілген. *Нәтижелер мен талқылау.* Зерттеу нәтижелерінде

генетикалық және репродуктивтік факторлардың тірі салмаққа, сою алдындағы салмаққа, ет өнімділігіне, ұша шығымына, морфологиялық және генетикалық көрсеткіштерге әсері қарастырылған. Сондай-ақ бағалау және селекция әдістеріне, репродуктивтік технологиялар мен ет сапасы арасындағы өзара байланысқа ерекше назар аударылған. Жүргізілген зерттеулер нәтижесі герефорд тұқымды сиырлар мен қашарларды жасанды ұрықтандыру ұрпақтың еттік және сойыс көрсеткіштеріне оң әсер ететінін көрсетті. Сою алдындағы салмақтың артуы, ұша шығымының жоғарылауы және ет өнімділігінің жақсаруы өндіруші бұқаларды дұрыс таңдау және тиімді селекциялық бағдарламаларды қолдану арқылы қамтамасыз етіледі. *Қорытынды.* Генетикалық көрсеткіштер ет өндірісі үшін маңызды белгілер бойынша жедел генетикалық прогреске қол жеткізу мүмкіндігін дәлелдейді.

**Түйін сөздер:** сойыс сапасы, ет өнімділігі, герефорд тұқымы, бұқашықтар, көбею, жасанды ұрықтандыру, генетикалық әлеует, тірі салмақ, сойыс шығымы

**Дәйексөз үшін:** Ғабит Г.Ғ., Бекенов Д.М., Мичинский Ян (2026). Герефорд тұқымды бұқашықтардың ет өнімділігі мен сойыс сапасына көбею әдісінің әсері // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 4. Number 112. Рр. 8–20. <https://doi.org/10.37884/4-2026/01> [In Russ.].

**Мүдделер қақтығысы:** авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

*Алғыс.* Авторлар ұжымы ғылыми зерттеулер жүргізуге және герефорд тұқымды сиырлардың төлдерінің ет өнімділігі бойынша деректер жинауға мүмкіндік жасаған «Агрофирма «Dinara-Ranch» ЖШС басшылығы мен қызметкерлеріне шынайы алғысын білдіреді.

**Г.Ғ. Ғабит<sup>1</sup>, Д.М. Бекенов<sup>\*2</sup>, Ян Мичинский<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>НАО Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>ТОО «Научно-производственный центр животноводства и ветеринарии», Астана, Казахстан;

<sup>3</sup>Варминско-Мазурский Университет, г. Олыштын, Польша.

E-mail: ironlan-1983@inbox.ru

## **ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ВОСПРОИЗВОДСТВА НА МЯСНУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ И УБОЙНЫЕ КАЧЕСТВА БЫЧКОВ ГЕРЕФОРДСКОЙ ПОРОДЫ**

**Ғабит Гулзат Ғабитовна**, кандидат с.-х. наук, старший преподаватель кафедры «Зооинженерия и биотехнология» НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», 050013, ул. Абая, 28, Алматы, Казахстан

E-mail: gabitgulzat\_07@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4083-4010>;

**Бекенов Даурен Маратович**, магистр естественных наук и биотехнологии, лауреат Государственной премии имени аль-Фараби в области науки и техники, старший научный сотрудник, ТОО «Научно-производственный центр животноводства и ветеринарии», 010000, ул. Кенесары, 40, БЦ «7 континент», 14 этаж, каб. 1418, Астана, Казахстан

E-mail: ironlan-1983@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2244-0878>;

**Ян Мичинский**, хабилитированный доктор (dr hab.) сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор, заведующий кафедрой овцеводства и козоводства на факультете биоинженерии животных в Варминско-Мазурском университете, Польша, 10-719, г. Олыштын, ул. Михала Очаповского 5, комната 139А

E-mail: micinski.jan.63@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3167-5476>.

**Аннотация. Введение.** Искусственное осеменение в мясном скотоводстве является наиболее эффективным методом генетического улучшения крупного рогатого скота случного контингента. Искусственное осеменение мясных пород широко применяется в Казахстане в течение последних 10 лет для генетического улучшения коммерческих стад в мясном скотоводстве. Одной из важных задач, стоящих перед животноводами, является удовлетворение потребностей населения страны в полноценных продуктах питания и, в частности, мяса. В связи с этим увеличение производства высококачественной говядины от племенного скота с высоким генетическим потенциалом является одной из актуальных задач современного развития животноводства. *Материал и методы.* Интенсификация всего процесса производства, широкое внедрение разработанные наукой прогрессивные технологии, основанные на

достижениях в области кормления, содержания и воспроизводства животных, является оптимальным решением поставленной задачи. Немаловажно проводить поиск более совершенных приёмов и методов повышения продуктивности крупного рогатого скота мясного направления продуктивности, в том числе за счёт усовершенствования пород путем подбора родительских пар. В статье проведён сравнительный анализ влияния на продуктивные и убойные показатели между бычками герефордской породы, полученные естественным путем и методом искусственного осеменения. *Результаты и обсуждение.* Представлены результаты научных исследований по влиянию генетических и репродуктивных факторов на живую массу, предубойную массу, мясную продуктивность, выход туши, морфологические и генетические параметры. Отдельное внимание уделено методам оценки и селекции, а также взаимосвязи репродуктивных технологий и мясных характеристик. Данные проведенных исследований демонстрируют, что искусственное осеменение коров и телок случного возраста герефордской породы оказывает положительное влияние на убойные и мясные показатели потомства. Улучшение предубойной массы, выход туши и мясной продуктивности возможно за счёт использования искусственного осеменения с оптимальным отбором производителей и селекционными программами. *Выводы.* Генетические параметры свидетельствуют о возможности быстрого генетического прогресса по признакам, важным для мясного производства.

**Ключевые слова:** убойные качества, мясная продуктивность, герефордская порода, бычки, воспроизводство, искусственное осеменение, генетический потенциал, живая масса, убойный выход

**Для цитирования:** Габит Г.Г., Бекенов Д.М., Мичинский Ян (2026). Влияние способа воспроизводства на мясную продуктивность и убойные качества бычков герефордской породы // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 4. Number 112. Рр. 8–20. <https://doi.org/10.37884/4-2026/01> [In Russ.].

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Благодарность:** коллектив авторов данной научной статьи выражает огромную благодарность руководителю и сотрудникам ТОО «Агрофирма «Dinara-Ranch» за предоставленную возможность проведения научных исследований по воспроизводству и сбору данных по мясной продуктивности потомства коров герефордской породы.

## Введение.

Современное мясное скотоводство нацелено на повышение продуктивности и эффективности производства за счёт внедрения репродуктивных технологий, таких как искусственное осеменение, синхронизация эструса и отбор по экономически важным признакам. Герефордская порода широко распространена в мире благодаря высокой мясной продуктивности, адаптивности к различным климатическим условиям и хорошим племенным качествам. Введение искусственного осеменения в программы селекции позволяет ускорить генетический прогресс за счёт использования семени высокопродуктивных быков-производителей и зарубежной селекции по ожидаемым разнице потомков и генетическим маркерам [Meyer и др., 2020: 1234–1245].

Одна из важнейших проблем аграрного сектора Республики Казахстан – обеспечение потребностей населения продуктами питания, в частности говядиной, решение которой предопределяет необходимость развития мясного скотоводства, как за счет роста численности мясного скота, так и повышения его продуктивности. Увеличение численности мясного скота в Казахстане осуществляется с использованием внутренних ресурсов, расширенным воспроизводством стад разводимых пород, а также путем импорта зарубежного генофонда. При этом поддержание высокой продуктивности животных, способных давать качественную мясную продукцию, должно обеспечиваться оптимизированными условиями содержания и кормлением, что особенно важно относительно импортных животных, испытывающих влияние акклиматизации и адаптации в новых условиях среды. В период перехода АПК Казахстана к новым условиям хозяйствования, была разрушена сложившаяся система обеспечения племенного процесса в животноводстве и, в том числе, в мясном скотоводстве. В этой связи, направленность исследований на повышение потенциала продуктивности мясного скота на основе использования эффективных методов и приемов селекции, создание новых генотипов, соответствующих современным требованиям, разработку системы управления племенными ресурсами в мясном скотоводстве, актуальна и неразрывно связана с выполнением общегосударственной задачи, обеспечения продовольственной безопасности страны.

Развитие мясного скотоводства невозможно без разнообразия пород, решения проблемы использования ценных генетических ресурсов на основе собственной племенной базы и интенсификации отрасли. Интенсивная технология требует создания новых высокопродуктивных генотипов, повышения уровня селекционно-племенной работы. Если ранее первостепенное значение придавалось скороспелости животных, то теперь на первом плане – интенсивность роста в сочетании с великорослостью. Поэтому деятельность ученых и производителей-селекционеров направлена, в основном на совершенствование племенных качеств мясного скота, выведение новых высокопродуктивных генотипов. Современное мясное скотоводство ориентировано на устойчивое повышение продуктивности, снижение себестоимости производства говядины и улучшение качественных характеристик мясного сырья [Herd и др., 2019: 4931–4941; Bourdon и др., 2019: 3977–3985].

Достижение этих целей невозможно без широкого внедрения современных биотехнологических и селекционных решений, направленных на ускорение генетического прогресса стада и повышение эффективности воспроизводства в мясном скотоводстве. Реформирование экономики в 90-х годах прошлого столетия привело к сокращению численности поголовья мясного скота и потере основной массы животных с высокими продуктивными показателями, к числу которых относятся высокоценные генотипы скота, сочетающие в себе лучший генофонд мирового мясного скотоводства. В связи с этим первоочередной задачей животноводов является ускоренное восстановление численности поголовья и расширенное воспроизводство высокопродуктивных животных. Последнее предусматривает улучшение племенных качеств животных путём интенсификации селекционно-племенной работы для совершенствования существующих районированных пород крупного рогатого скота. Система селекции в скотоводстве основана на принципах точной генетической оценки и широкого использования генетически ценных быков производителей и ценных маток для ускорения повышения продуктивности стада. При этом внутрипородная селекция процесс длительный по времени. Ведущая роль в данном направлении принадлежит репродуктивным технологиям, прежде всего искусственному осеменению, программам синхронизации эструса, трансплантации эмбрионов и геномной селекции по экономически значимым признакам [Zhao et al., 2020: 165; Petrov и др., 2021: 145–154; Miller и др., 2020: 1234–1245; Meškinytė и др., 2025: 872].

Технология искусственного осеменения крупного рогатого скота мясного направления продуктивности широко применяется в странах с развитым животноводством и является перспективным направлением в селекционно-племенной работе по ускоренному разведению, улучшению племенных качеств и сохранению существующих пород мясного скота. Биотехнология воспроизводства включает целый ряд биотехнических методов и приёмов, основанных на фундаментальных достижениях в исследовании репродуктивной функции и её регуляции. Направленное управление репродуктивной функцией крупного рогатого скота позволяет фермерским хозяйствам, в конечном счёте, обеспечить возможность увеличения на 60–70 % производства мяса. Искусственное осеменение является одним из наиболее эффективных инструментов управления воспроизводством в мясном скотоводстве. Применение искусственного осеменения на матках крупного рогатого скота мясного направления продуктивности позволяет максимально широко использовать генетический потенциал выдающихся быков-производителей, получать многочисленное потомство с прогнозируемыми хозяйственно полезными признаками, а также снижать риски передачи наследственных дефектов. Кроме того, технология обеспечивает контроль происхождения животных, повышение биобезопасности хозяйств и оптимизацию структуры стада [Kovalenko и др., 2021: 45–52; Smith и др., 2020].

Герефордская порода крупного рогатого скота занимает значимое место в мировом мясном скотоводстве. Животные этой породы характеризуются высокой скороспелостью, способностью эффективно конвертировать корма в прирост живой массы, хорошей приспособленностью к различным природно-климатическим условиям и стабильными показателями мясной продуктивности. Герефорды отличаются выраженными мясными формами телосложения, высоким убойным выходом, оптимальным соотношением мышечной, жировой и костной тканей, а также хорошими вкусовыми качествами мяса, что делает породу востребованной в промышленном производстве говядины [Mironova и др., 2021: 327–334].

Включение искусственного осеменения в племенные программы разведения герефордского скота позволяет существенно ускорить селекционный процесс. Использование семени быков с высокими показателями племенной ценности даёт возможность направленно улучшать такие признаки, как

интенсивность роста, живая масса к возрасту убоя, масса и выход туши, площадь «мышечного глазка», степень мраморности мяса и конверсия корма. В селекционной практике широко применяются показатели ожидаемой разницы потомков (EPD), геномные индексы и молекулярно-генетические маркеры, позволяющие прогнозировать продуктивные качества животных с высокой степенью достоверности.

Особую значимость приобретает оценка убойных показателей потомства, полученного различными способами осеменения. Убойная продуктивность является интегральным показателем мясной ценности животных и включает живую массу перед убоем, предубойную массу, массу туши, убойный выход и морфологический состав туши [Bigham и др., 2019: 4932–4941].

Сравнительный анализ этих параметров у бычков, полученных методом искусственного и естественного осеменения, позволяет объективно оценить эффективность применения современных репродуктивных технологий в мясном скотоводстве [Naserkheil и др., 2021: 1425].

Таким образом, изучение влияния способа осеменения на формирование мясной продуктивности герефордских бычков представляет как научный, так и практический интерес, поскольку результаты подобных исследований могут служить основанием для совершенствования селекционно-племенной работы и повышения экономической эффективности производства говядины [Jones и др., 2021: 1234–1245].

В современных экономических условиях также необходимо внедрять научные разработки ученых и опыт работы производителей по интенсивной технологии в мясном скотоводстве, с учетом современных методов интенсивного содержания и кормления животных, воспроизводства стада с использованием высокопродуктивного генофонда отечественных и импортного скота [Омбаев и др., 2023: 36–44].

Целью настоящего исследования являлась сравнительная оценка убойных показателей и мясной продуктивности бычков герефордской породы, полученных методами искусственного и естественного осеменения, а также определение производственной и экономической целесообразности применения репродуктивных технологий в мясном скотоводстве.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

Сформировать опытные группы бычков герефордской породы, полученных методом искусственного осеменения, и контрольные группы животных, полученных естественным путём.

Провести статистическую обработку полученных данных с определением средних величин, ошибок средней, коэффициента вариации и достоверности различий.

Выполнить сравнительный анализ мясной продуктивности животных в зависимости от способа осеменения.

Рассчитать экономическую эффективность выращивания бычков, полученных различными способами воспроизводства.

Обосновать практическую значимость применения искусственного осеменения в мясном скотоводстве.

### **Материал и методы.**

Исследования проводились в условиях специализированного хозяйства мясного направления в ТОО «Агрофирма «Dinara-Ranch», расположенном в Балхашском районе Алматинской области. Данная агрофирма активно занимается мясным скотоводством, что подразумевает использование современных технологий для повышения продуктивности и качества получаемого мяса. Содержание животных осуществлялось по технологии беспривязного содержания с выгульными площадками, что обеспечивает бычкам возможность свободного передвижения, что, в свою очередь, положительно сказывается на их здоровье и продуктивности.

Кормление животных было тщательно сбалансировано по детализированным нормам, с учётом различных факторов, таких как возраст, живая масса и физиологическое состояние бычков. Согласно современным рекомендациям [Weik и др., 2021; Fantuz и др., 2024; Davis и др., 2024], правильное кормление является ключевым аспектом, влияющим на рост и развитие скота. В ходе исследования объектом стали бычки герефордской породы, известных своей высокой мясной продуктивностью и качеством мяса.

Для достижения целей исследования была сформирована две группы животных по принципу аналогов. Первая группа, опытная, состояла из бычков, полученных методом искусственного осеменения. Это позволяет контролировать генетические характеристики и улучшать показатели продуктив-

ности за счёт выбора лучших производителей. Вторая группа, контрольная, включала бычков, полученных методом естественного оплодотворения. Такой подход даёт возможность сравнить результаты двух методов разведения и оценить их влияние на продуктивность.

Подбор животных осуществлялся с учётом множества факторов, включая происхождение, возраст и живую массу при рождении, а также условия кормления и содержания. Это важно для обеспечения однородности групп и получения достоверных результатов. В ходе работы применялись зоотехнические методы, такие как индивидуальное взвешивание животных, учёт среднесуточных приростов живой массы, а также контроль развития экстерьера. Эти методы позволяют получить полное представление о росте и развитии животных на протяжении всего периода исследования.

Убой животных проводился в возрасте 12, 15 и 18 месяцев. В этот период определялись предубойная живая масса, масса горячей туши и масса охлаждённой туши. Эти показатели являются важными для оценки мясной продуктивности и качества мяса, а также для экономической оценки эффективности ведения животноводства. Регулярный мониторинг этих данных позволяет оперативно вносить коррективы в технологии содержания и кормления животных, что в конечном итоге способствует повышению общей эффективности производства.

Таким образом, проведённые исследования в ТОО «Агрофирма «Dinara-Ranch» предоставили ценные данные о сравнительной эффективности различных методов оплодотворения и их влиянии на рост и развитие бычков герефордской породы. Результаты могут быть полезны не только для данного хозяйства, но и для других агропредприятий, занимающихся мясным скотоводством, что в конечном итоге будет способствовать улучшению качества мясной продукции в регионе.

Результаты исследований обработаны биометрическими методами.

### Результаты и обсуждение.

Искусственное осеменение позволяет использовать высокопродуктивных быков со значительно лучшими генетическими показателями по росту и массе. Установлено, что бычки, полученные методом искусственного осеменения, характеризовались более интенсивным ростом во все возрастные периоды. Преимущество по живой массе объясняется использованием семени высокопродуктивных быков-производителей с высоким генетическим потенциалом мясной продуктивности.

К возрасту убоя животные опытной группы превосходили контрольных сверстников, что свидетельствует о положительном влиянии направленной селекции (таблица 1).

Таблица 1. Живая масса перед убоем (кг)

| Возраст в мес. | Опытная группа | $\pm m$ | Cv, % | Контрольная группа | $\pm m$ | Cv, % | Разница | P     |
|----------------|----------------|---------|-------|--------------------|---------|-------|---------|-------|
| 12             | 420.0          | 5.69    | 4.29  | 405.0              | 5.38    | 4.20  | +15.0   | <0.05 |
| 15             | 505.0          | 6.96    | 4.36  | 482.0              | 6.64    | 4.36  | +23.0   | <0.05 |
| 18             | 590.0          | 8.22    | 4.41  | 560.0              | 7.59    | 4.29  | +30.0   | <0.05 |

Таблица, представленная в исследовании, иллюстрирует динамику живой массы бычков герефордской породы в зависимости от возраста и метода воспроизводства. В возрасте 12 месяцев живая масса бычков опытной группы составила 420,0 кг, что на 15,0 кг больше по сравнению с контрольной группой, где этот показатель зафиксирован на уровне 405,0 кг. Различия между группами оказались статистически достоверными ( $P < 0,05$ ), что подтверждает значимость полученных результатов. Коэффициенты вариации, находившиеся на низком уровне – 4,29 % для опытной группы и 4,20 % для контрольной – свидетельствуют о высокой однородности подопытных животных. Это означает, что отклонения в живой массе среди особей в каждой группе были минимальными, что является положительным фактором для дальнейшего анализа и селекционных мероприятий. На 15-м месяце жизни преимущество животных опытной группы продолжило увеличиваться. Их живая масса достигла 505,0 кг, в то время как в контрольной группе она составила 482,0 кг, что дало разницу в 23,0 кг. Эти различия также оказались статистически достоверными ( $P < 0,05$ ). Коэффициент вариации оставался стабильным на уровне 4,36 % в обеих группах, что указывает на постоянство признака. В возрасте 18 месяцев живая масса бычков, полученных методом искусственного осеменения, составила 590,0 кг, что превышало показатель контрольной группы (560,0 кг.) на 30,0 кг. Статистическая значимость также была подтверждена ( $P < 0,05$ ). Низкие значения коэффициента вариации (4,41 % для опытной группы и 4,29

% для контрольной) вновь подтвердили высокую однородность животных. Ошибка средней ( $\pm m$ ) во всех возрастных периодах была незначительной, что указывает на достаточную точность проведенных измерений и надежность полученных данных. Эти результаты подчеркивают эффективность применения метода искусственного осеменения в мясном скотоводстве, что имеет важное значение для практического применения в селекционных программах.

Исследования показали умеренные и высокие значения наследуемости для основных мясных признаков у герефордских животных: масса туши, толщина жира, площадь длиннейшей мышцы имеют наследуемость. Это говорит о высокой эффективности селекции на эти признаки. Ниже приведены данные как средние значения по группам бычков герефордской породы, полученных от искусственно осеменения (таблица 2).

Таблица 2. Убойные показатели по возрастам убоя

| Показатель                                  | 12 месяцев | 15 месяцев | 18 месяцев |
|---------------------------------------------|------------|------------|------------|
| Живая масса перед убоем, кг                 | 420        | 505        | 590        |
| Предубойная масса, кг                       | 400        | 480        | 560        |
| Масса горячей туши, кг                      | 228        | 282        | 338        |
| Мясо охлажденной туши, кг                   | 224        | 276        | 331        |
| Убойный выход (горячая туша), %             | 57.0       | 58.8       | 60.3       |
| Убойный выход (охлажденная туша), %         | 56.0       | 57.5       | 59.1       |
| Выход мякоти, % от туши                     | 76.5       | 78.4       | 80.2       |
| Доля костей, % от туши                      | 18.9       | 17.1       | 15.6       |
| Доля жира, % от туши                        | 4.6        | 4.5        | 4.2        |
| Площадь «мышечного глазка», см <sup>2</sup> | 68.2       | 82.7       | 96.4       |
| Толщина подкожного жира, мм                 | 8.4        | 12.6       | 16.8       |

Представленные данные из таблицы 2 отражают динамику основных убойных показателей бычков герефордской породы, полученных методом искусственного осеменения, при убое в возрасте 12, 15 и 18 месяцев. Эти показатели являются ключевыми для оценки мясной продуктивности и эффективности технологий, применяемых в животноводстве. Живая масса животных возрастает с возрастом, что свидетельствует о здоровом росте и развитии. В возрасте 12 месяцев она составила 420 кг, а к 18 месяцам увеличилась до 590 кг. Этот рост на 170 кг подчеркивает эффективность питания и условий содержания бычков, а также положительное влияние искусственного осеменения на генетические параметры. Предубойная масса демонстрирует аналогичную тенденцию — рост с 400 кг в 12 месяцев до 560 кг в 18 месяцев. Это увеличение предубойной массы отражает не только прирост мышечной массы, но и накопление энергетических ресурсов в организме животных, что является критически важным для достижения высоких убойных показателей. Масса горячей туши увеличивается с возрастом с 228 кг до 338 кг, тогда как масса охлажденной туши возрастает с 224 кг до 331 кг. Эти данные свидетельствуют о высокой мясной продуктивности бычков герефордской породы, а также о том, что с увеличением живой массы растет и выход мяса. Разница между горячей и охлажденной тушей отражает естественную усушку и потери влаги, что является нормальным процессом при переработке мяса. Убойный выход по горячей туше увеличивается с 57,0 % до 60,3 %, а по охлажденной туше — с 56,0 % до 59,1 %. Эти показатели демонстрируют эффективность мясной конверсии и позволяют оценить реализацию генетического потенциала животных. С увеличением возраста стабильно растёт убойный выход, что связано с накоплением мышечной ткани и уменьшением относительной доли костей и жира. Выход мякоти увеличивается с 76,5 % до 80,2 %, доля костей снижается с 18,9 % до 15,6 %, а доля жира — с 4,6 % до 4,2 %. Эти данные свидетельствуют о формировании оптимального мясного типа телосложения, характерного для герефордской породы, с преобладанием мышечной ткани над костями и подкожным жиром. С увеличением возраста площадь «мышечного глазка» растёт с 68,2 см<sup>2</sup> до 96,4 см<sup>2</sup>. Этот показатель отражает увеличение объема и толщины наиболее мясистого участка туши, что является важным индикатором мясной ценности. Более крупная площадь «мышечного глазка» указывает на высокую вероятность получения мяса с отличными вкусовыми качествами и мраморностью. Толщина подкожного жира увеличивается с 8,4 мм в 12 месяцев до 16,8 мм в 18 месяцев. Несмотря на этот рост, значение остается оптимальным для обеспечения хороших вкусовых качеств и мраморности

мяса, не снижая при этом убойный выход. Таким образом, увеличение толщины подкожного жира не является негативным фактором, а, наоборот, свидетельствует о правильном сбалансированном питании и условиях содержания. Таким образом, данные таблицы 2 подчеркивают высокую эффективность применения метода искусственного осеменения в мясном скотоводстве, а также подтверждают, что бычки герефордской породы имеют значительный потенциал для производства мяса. Постоянный рост ключевых убойных показателей на протяжении периодов откорма указывает на успешную реализацию селекционных программ и грамотное управление стадом. Полученные результаты могут служить основой для дальнейших исследований и оптимизации технологий в мясном скотоводстве, что в конечном итоге приведет к повышению конкурентоспособности продукции на рынке.

Несмотря на рост, значение остаётся оптимальным для обеспечения хороших вкусовых качеств и мраморности мяса, не снижая при этом убойный выход [Ibraeva и др., 2025: 761–769].

Масса горячей туши увеличивается с возрастом во всех группах, что отражает рост живой массы и накопление мышечной ткани. Бычки, полученные методом искусственного осеменения, превосходят контрольную группу по массе туши на всех возрастных этапах (таблица 3).

Таблица 3. Масса горячей туши (кг)

| Возраст | Опытная группа | $\pm m$ | Cv, % | Контрольная группа, кг | $\pm m$ | Cv, % | Разница | P     |
|---------|----------------|---------|-------|------------------------|---------|-------|---------|-------|
| 12      | 228.0          | 3.79    | 5.26  | 216.0                  | 3.48    | 5.09  | +12.0   | <0.05 |
| 15      | 282.0          | 4.43    | 4.96  | 265.0                  | 4.11    | 4.91  | +17.0   | <0.05 |
| 18      | 338.0          | 5.06    | 4.73  | 315.0                  | 4.74    | 4.76  | +23.0   | <0.05 |

Таблица 3 отражает показатели массы горячей туши бычков герефордской породы в зависимости от возраста убоя и способа получения животных – методом искусственного осеменения (опытная группа) и естественного оплодотворения (контрольная группа).

Масса горячей туши у бычков в возрасте 12 месяцев опытной группы составила 228,0 кг, что на 12,0 кг больше, чем у контрольной группы (216,0 кг). Различие является статистически достоверным ( $P < 0,05$ ). Ошибка средней ( $\pm m$ ) в опытной группе – 3,79 кг, коэффициент вариации – 5,26 %, что говорит о хорошей однородности группы. Контрольная группа имеет близкие значения однородности ( $\pm m = 3,48$  кг, Cv = 5,09 %). К 15-месячному возрасту масса горячей туши возрастает: у опытной группы до 282,0 кг, у контрольной – до 265,0 кг. Разница между группами составила 17,0 кг, что также достоверно ( $P < 0,05$ ). Коэффициент вариации снижается (4,96 % и 4,91 %), что свидетельствует о более стабильной реализации генетического потенциала с возрастом. Наибольшая масса горячей туши зарегистрирована у бычков 18 месяцев: опытная группа – 338,0 кг, контрольная – 315,0 кг, разница 23,0 кг. Различие статистически достоверно ( $P < 0,05$ ). Коэффициенты вариации остаются низкими (4,73 % и 4,76 %), что подтверждает высокую однородность животных по данному признаку.

Убойный выход увеличивается с возрастом у всех групп животных, отражая рост массы туши и улучшение мясной конверсии (таблица 4).

Таблица 4. Убойный выход (%)

| Возраст в мес. | Опытная группа, % | $\pm m$ | Cv, % | Контрольная группа, % | $\pm m$ | Cv, % | Разница | P           |
|----------------|-------------------|---------|-------|-----------------------|---------|-------|---------|-------------|
| 12             | 57.0              | 0.38    | 2.11  | 55.6                  | 0.41    | 2.34  | +1.4    | $\geq 0.05$ |
| 15             | 58.8              | 0.35    | 1.87  | 57.1                  | 0.38    | 2.10  | +1.7    | $\geq 0.05$ |
| 18             | 60.3              | 0.32    | 1.66  | 58.2                  | 0.35    | 1.89  | +2.1    | $\geq 0.05$ |

Таблица 4 демонстрирует показатели убойного выхода бычков герефордской породы в зависимости от возраста и способа получения животных: искусственное осеменение и естественное оплодотворение. Убойный выход у 12-месячных бычков опытной группы составил 57,0 %, тогда как в контрольной группе – 55,6 %, что даёт разницу +1,4 %. Различие статистически недостоверно ( $P \geq 0,05$ ). Ошибка средней ( $\pm m$ ) у опытной группы – 0,38 %, у контрольной группы – 0,41 %, коэффициенты вариации находятся на низком уровне (2,11 % и 2,34 %), что свидетельствует о высокой однородности животных по данному признаку. К возрасту 15 месяцев убойный выход увеличивается у опытной группы – 58,8 %, контрольной группы – 57,1 %, разница +1,7 %. Различие по-прежнему статистически не-

достоверно ( $P \geq 0,05$ ). Низкие значения  $\pm m$  и  $C_v$  указывают на стабильность признака в обеих группах. Наибольший убойный выход отмечен у животных 18 месяцев: опытная группа - 60,3 %, контрольная группа – 58,2 %, разница +2,1%. Различие также недостоверно ( $P \geq 0,05$ ), что говорит о том, что при достижении старших возрастов способ осеменения оказывает умеренное влияние на процент убойного выхода.

### **Выводы.**

Проведенные научные исследования демонстрируют, что искусственное осеменение коров и телок случного возраста герефордской породы оказывает положительное влияние на убойные и мясные показатели потомства. Этот метод является важным инструментом в современном животноводстве, так как его применение значительно повышает эффективность производства мяса. Улучшение предубойной массы, выход туши и мясной продуктивности возможно за счет использования искусственного осеменения с оптимальным отбором семени быков-производителей и селекционными программами. Генетические параметры свидетельствуют о возможности быстрого генетического прогресса по признакам, важным для мясного производства. Искусственное осеменение позволяет производителям выбирать наиболее подходящих быков-производителей с желаемыми генетическими характеристиками. Это открывает новые горизонты для селекции и улучшения породы, так как генетический материал может быть получен от лучших представителей, даже если они находятся на большом расстоянии. В результате, генетическое разнообразие в стаде возрастает, что в свою очередь положительно сказывается на здоровье и устойчивости животных.

На основании вышеизложенного материала можно сформулировать обоснованные выводы, указывающие как на биологические закономерности роста и развития животных, так и на практическую значимость применения современных селекционных технологий в мясном скотоводстве. Результаты исследований ярко иллюстрируют, что использование технологического метода искусственного осеменения оказывает положительное влияние на реализацию генетического потенциала мясной продуктивности бычков. Приплод, полученный таким способом, отличается более интенсивным ростом, что свидетельствует о более эффективной передаче и проявлении наследственных признаков, связанных с мясной продуктивностью.

Важность подбора быков-производителей. Это указывает на важность корректного подбора быков-производителей, поскольку именно через искусственное осеменение возможно целенаправленно закреплять желательные хозяйственно-полезные признаки в популяции. Подбор быков с высокими показателями мясной продуктивности, здоровьем и хорошими экстерьерными характеристиками способствует улучшению общего состояния стада.

Имеет первостепенное значение выявленная тенденция усиления различий между опытной и контрольной группами с возрастом полученного приплода. Увеличение этих различий показывает кумулятивный эффект селекционного превосходства: генетические достоинства, заложенные на ранних этапах, по прошествии времени проявляются всё более полно. Это указывает на то, что плюсы искусственного осеменения становятся наиболее заметными не одномоментно, а в процессе роста и развития молодняка мясных пород. Это важно учитывать при планировании производственного цикла и оценке результативности селекционных мероприятий.

Важной стороной является установленная высокая генетическая корреляция между живой массой животных и массой туши. Установленное событие имеет огромное практическое значение, поскольку это дает возможность использовать показатели раннего роста как испытанный критерий отбора. Отбор по живой массе в раннем возрасте позволяет с высокой вероятностью прогнозировать будущую мясную продуктивность, снижая затраты времени и ресурсов на выращивание менее перспективных животных. Это, в свою очередь, упрощает и ускоряет селекционный процесс.

Закономерности увеличения мясной продуктивности. Результаты исследований также доказывают закономерность увеличения всех основных показателей мясной продуктивности с возрастом убоя. Это видно в росте живой массы, увеличении массы туши и улучшении её морфологического состава. Преобладание мышечной массы при умеренном содержании жира и костей свидетельствует о высоком качестве получаемой продукции, где отмечается оптимальное соотношение мышечной, жировой и костной тканей.

Целесообразность выращивания до 18 месяцев. В этом отношении обоснованным является вывод о целесообразности выращивания молодняка герефордской породы до 18-месячного возраста, так

как именно к этому периоду достигается наилучшее соотношение количественных и качественных характеристик туши. Это влияет на максимальную экономическую эффективность производства. При этом стоит обратить внимание на условия содержания и кормления, так как они также играют важную роль в конечных показателях. Вариабельность и однородность признаков. Особого внимания требуют показатели вариабельности изучаемых признаков. Невысокие значения коэффициента вариации и ошибки средней говорят о высокой однородности исследуемых групп и стабильности проявления признаков. Это однозначно указывает на надежность полученных данных и высокую точность проведенных научных исследований. Такие результаты укрепляют доверие к полученным данным и позволяют использовать их в практической деятельности без существенных замечаний.

Положительные тенденции в группах. Несмотря на то, что различия между опытной и контрольной группами по ряду показателей не достигли статистически достоверного уровня, выявленная положительная тенденция в пользу животных, полученных методом искусственного осеменения, имеет важное значение. В условиях биологических исследований, где на результаты влияет множество факторов, даже тенденции могут служить основанием для практических решений, особенно если они согласуются с теоретическими предпосылками и подтверждаются другими исследованиями.

Убойный выход: относительный и абсолютный показатели. Очень интересным является тот факт, что влияние искусственного осеменения на процент убойного выхода выражено в меньшей степени по сравнению с его влиянием на абсолютные показатели, такие как масса туши. Это объясняется тем, что убойный выход является относительным показателем и зависит не только от генетических факторов, но и от физиологического состояния животного, условий кормления и содержания. Тем не менее, с увеличением возраста молодняка влияние данного фактора становится более заметным, что вновь подтверждает накопительный характер селекционного эффекта.

Эффективность применения искусственного осеменения. В общем, полученные данные свидетельствуют о высокой эффективности применения техники искусственного осеменения в мясном скотоводстве, особенно при условии использования качественного генетического материала семени быков-производителей зарубежного происхождения и продуманной селекционной программы. Данный метод позволяет ускорить генетический прогресс, повысить мясную продуктивность животных и улучшить экономические показатели отрасли.

Таким образом, можно резюмировать, что искусственное осеменение крупного рогатого скота мясного направления продуктивности является важным инструментом современного животноводства, способствующим повышению продуктивности и качества продукции. Применение искусственного осеменения в сочетании с научно обоснованными методами отбора, подбора и выращивания животных открывает широкие перспективы для дальнейшего развития мясного скотоводства и повышения его конкурентоспособности.

В будущем целесообразно продолжить исследования в области искусственного осеменения, расширяя спектр использованных быков-производителей и совершенствуя селекционные программы. Это позволит добиться ещё более значительных результатов в улучшении мясной продуктивности, а также повысит устойчивость к заболеваниям и адаптивные способности животных. Использование современных технологий, таких как геномное селектирование, может стать следующим шагом в эволюции мясного скотоводства, обеспечивая более точный и эффективный подход к улучшению стада. Кроме того, необходимо уделять внимание обучению специалистов в данной области, чтобы обеспечить внедрение современных технологий и научных знаний в практическую деятельность. Это будет способствовать не только повышению производительности, но и устойчивому развитию мясного скотоводства в целом. Влияние на экономику и рынок. Успех применения искусственного осеменения также имеет экономическое значение. Увеличение мясной продуктивности позволяет сократить затраты на кормление и содержание животных, что, в свою очередь, повышает рентабельность бизнеса. Более качественное мясо привлекает покупателей и может обеспечить более высокую цену на рынке. Таким образом, инвестиции в искусственное осеменение и селекцию могут стать ключевым фактором успеха для мясных фермеров.

Кроме того, применение современных технологий в животноводстве, таких как искусственное осеменение, может способствовать более рациональному использованию природных ресурсов. Улучшение генетического потенциала животных позволяет получать больше продукции с меньшими затратами, что важно в условиях растущего населения и ограниченных ресурсов. Это также может помочь

в решении экологических проблем, связанных с животноводством, таких как выбросы парниковых газов и загрязнение окружающей среды. В заключение, искусственное осеменение является важным инструментом, который открывает новые возможности для улучшения мясного скотоводства. Применение этого метода в сочетании с научно обоснованными подходами к селекции и управлению стадом способствует не только повышению продуктивности и качества продукции, но и устойчивому развитию всей отрасли. С учетом всех вышеперечисленных факторов, можно с уверенностью сказать, что будущее мясного скотоводства зависит от эффективного использования технологий, таких как искусственное осеменение, и адаптации к современным вызовам и требованиям рынка.

## ЛИТЕРАТУРА

- Bigham, M.L., & McCabe, M.S. (2019). Heterosis effects on postweaning growth and carcass traits in beef cattle: A review of recent findings. *Journal of Animal Science*. 97(12). 4932–4941. <https://doi.org/10.1093/jas/skz350>
- Bourdon, R.M. & Brinks, J.S. (2019). Genetic evaluation of carcass traits using ultrasound technology in beef cattle: A review // *Journal of Animal Science*. 97(10). 3977–3985. <https://doi.org/10.1093/jas/skz249>.
- Davis M.K., Sullivan P.A., Hess A.M., Nair M.N., Mooney D.F., Edwards-Callaway L.N. (2024). An analysis of the influence of preslaughter management factors on welfare and meat quality outcomes in fed beef cattle in the United States. *Transl Anim Sci*. Jul 22. 8:txae108. Doi: 10.1093/tas/txae108. PMID: 39119361; PMCID: PMC11306929.
- Fantuz F., Fatica A., Salimei E., Marcantoni F., Todini L. (2024). Nutrition, Growth, and Age at Puberty in Heifers. *Animals (Basel)*. 2024 Sep 27;14(19):2801. doi: 10.3390/ani14192801. PMID: 39409750; PMCID: PMC11475817.
- Herd, D.B. & Sweeney T. (2019). Impact of cow type and nutritional strategies on reproductive performance and efficiency in beef cattle // *Journal of Animal Science*. 97(12). 4931–4941. <https://doi.org/10.1093/jas/skz353>
- Ibrayeva R., Nurgazy K.Sh., Mukhametzhanova O., Gabit G. (2025) Genetic potential of Kazakh White-headed and Hereford breeds for beef production in Purebred farms and crossbreeding. *Biodiversitas*, 2025. ISSN: 1412033X. Volume: 26. Issue: 2. Pp. 761–769 DOI: 10.13057/biodiv/d260224
- Jones M.L., Smith K.T. & Taylor R.J. (2021). Genetic evaluation of carcass traits in beef cattle: Advances and implications // *Journal of Animal Science*. 99(7). 1234–1245. doi: 10.1093/jas/skab123
- Kovalenko, A.G. & Petrov, V.V. (2021). Meat productivity and quality characteristics of Hereford cattle in Siberian conditions. *Food Technology and Food Safety*. 6(2). 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.ftfs.2021.03.012>
- Meškinytė, E., Jukna, V., Zigmantaitė, V., Ilina, O., Kučinskas, A. (2025). The Effectiveness of the Use of Ultrasound Methodology (Applied to Live Animals) to Assess the Quality of Meat. *Animals*. 15. 872. <https://doi.org/10.3390/ani15060872>.
- Meyer, K. & Kirkpatrick, B.W. (2020). Genetic evaluation of growth, carcass, and ultrasound traits in beef cattle: Advances and implications // *Journal of Animal Science*. 98(9). 1234–1245. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa1234>
- Miller, M.F., McKenna, D.R., & Herring, A.D. (2020). Influence of breed and feeding strategy on feedlot performance and carcass quality in beef cattle // *Journal of Animal Science*. 98(9). 1234–1245. doi: 10.1093/jas/skaa1234.
- Mironova, I., Beresnev, V., Tagirov, H., Galieva, Z., Gaag, A. & Khabibullin, R. (2021). Meat Productivity of Hereford Breed Calves with the Carbohydrate Complex Diet. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*. 16(4). 327–334. <https://doi.org/10.3844/ajavsp.2021.327.334>
- Naserkheil M., Lee D.H., Kong H.S., Seong J., Mehrban H. (2021). Estimation of Genetic Parameters and Correlation between Yearling Ultrasound Measurements and Carcass Traits in Hanwoo Cattle. *Animals (Basel)*. 2021 May 16. 11(5):1425. doi: 10.3390/ani11051425. PMID: 34065714; PMCID: PMC8157053.
- Petrov, A.A. & Sokolov, I.V. (2021). Current trends and challenges in the beef cattle industry in Russia. *Russian Agricultural Sciences*. 47(2). 145–154. doi: 10.3103/S1068367421020053
- Smith, J.A. Johnson, R.T. & Brown, L.M. (2020). Advances in semen evaluation and fertility in beef cattle: Implications for artificial insemination. *Animal Reproduction Science*, 217. 106416. doi: 10.1016/j.anireprosci.2020.106416.
- Weik, Franziska & Hickson, Rebecca & Morris, S. & Garrick, Dorian & Archer, Jason (2021). Genetic Parameters for Growth, Ultrasound and Carcass Traits in New Zealand Beef Cattle and Their Correlations with Maternal Performance. *Animals*. 12. 25. 10.3390/ani12010025.
- Zhao, X., Wang, Y., & Liu, J. (2020). Comparative analysis of growth performance, carcass characteristics, and meat quality of different beef cattle breeds under intensive feeding systems. *Meat Science*. 165. 108128. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108128>
- Омбаев А.М., Мирзакулов С.М., Чиндалиев А.Е. (2023). Научно-технологические аспекты развития животноводства Казахстана // *Исследования, результаты*. №3 (99). С. 36–44.

## REFERENCES

- Bigham, M.L., & McCabe, M.S. (2019). Heterosis effects on postweaning growth and carcass traits in beef cattle: A review of recent findings. *Journal of Animal Science*. 97(12). 4932–4941. <https://doi.org/10.1093/jas/skz350>
- Bourdon, R.M., & Brinks, J.S. (2019). Genetic evaluation of carcass traits using ultrasound technology in beef cattle: A review. *Journal of Animal Science*. 97(10). 3977–3985. <https://doi.org/10.1093/jas/skz249>.
- Davis M.K., Sullivan P.A., Hess A.M., Nair M.N., Mooney D.F., Edwards-Callaway L.N. (2024). An analysis of the influence of preslaughter management factors on welfare and meat quality outcomes in fed beef cattle in the United States. *Transl Anim Sci*. Jul 22;8:txae108. doi: 10.1093/tas/txae108. PMID: 39119361; PMCID: PMC11306929.
- Fantuz F., Fatica A., Salimei E., Marcantoni F., Todini L. (2024). Nutrition, Growth, and Age at Puberty in Heifers. *Animals (Basel)*. Sep 27;14(19):2801. doi: 10.3390/ani14192801. PMID: 39409750; PMCID: PMC11475817.
- Herd, D.B. & Sweeney, T. (2019). Impact of cow type and nutritional strategies on reproductive performance and efficiency in beef cattle // *Journal of Animal Science*. 97(12). 4931–4941. <https://doi.org/10.1093/jas/skz353>
- Ibrayeva R., Nurgazy K.Sh., Mukhametzhanova O., Gabit G. (2025). Genetic potential of Kazakh White-headed and Hereford breeds for beef production in Purebred farms and crossbreeding. *Biodiversitas*, 2025. ISSN: 1412033X. Volume: 26. Issue: 2. Pp. 761–769. DOI: 10.13057/biodiv/d260224
- Jones, M.L., Smith, K.T. & Taylor, R.J. (2021). Genetic evaluation of carcass traits in beef cattle: Advances and implications // *Journal of Animal Science*. 99(7). 1234–1245. doi: 10.1093/jas/skab123

- Kovalenko, A.G. & Petrov, V.V. (2021). Meat productivity and quality characteristics of Hereford cattle in Siberian conditions. *Food Technology and Food Safety*. 6(2). 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.ftfs.2021.03.012>
- Meškinytė, E., Jukna, V., Zigmantaitė, V., Ilina, O., Kučinskas, A. (2025). The Effectiveness of the Use of Ultrasound Methodology (Applied to Live Animals) to Assess the Quality of Meat. *Animals* 2025. 15. 872. <https://doi.org/10.3390/ani15060872>.
- Meyer, K. & Kirkpatrick, B.W. (2020). Genetic evaluation of growth, carcass, and ultrasound traits in beef cattle: Advances and implications // *Journal of Animal Science*. 98(9). 1234–1245. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa1234>
- Miller, M.F., McKenna, D.R., & Herring, A.D. (2020). Influence of breed and feeding strategy on feedlot performance and carcass quality in beef cattle // *Journal of Animal Science*. 98(9). 1234–1245. doi: 10.1093/jas/skaa1234.
- Mironova, I., Beresnev, V., Tagirov, H., Galieva, Z., Gaag, A. & Khabibullin, R. (2021). Meat Productivity of Hereford Breed Calves with the Carbohydrate Complex Diet // *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*. 16(4). 327–334. <https://doi.org/10.3844/ajavsp.2021.327.334>
- Naserkheil M, Lee DH, Kong HS, Seong J, Mehrban H. (2021). Estimation of Genetic Parameters and Correlation between Yearling Ultrasound Measurements and Carcass Traits in Hanwoo Cattle. *Animals (Basel)*. May 16;11(5):1425. doi: 10.3390/ani11051425. PMID: 34065714; PMCID: PMC8157053.
- Ombaev A.M., Mirzakulov S.M., Chindaliev A.E. (2023). Nauchno-tehnologicheskie aspekty razvitiya zhivotnovodstva Kazahstana // *Issledovaniya, rezul'taty*. №3 (99). Pp. 36–44.
- Petrov, A.A. & Sokolov, I.V. (2021). Current trends and challenges in the beef cattle industry in Russia // *Russian Agricultural Sciences*. 47(2). 145–154. doi: 10.3103/S1068367421020053
- Smith, J.A., Johnson, R.T. & Brown, L.M. (2020). Advances in semen evaluation and fertility in beef cattle: Implications for artificial insemination. *Animal Reproduction Science*. 217. 106416. doi: 10.1016/j.anireprosci.2020.106416.
- Weik, Franziska & Hickson, Rebecca & Morris, S. & Garrick, Dorian & Archer, Jason (2021). Genetic Parameters for Growth, Ultrasound and Carcass Traits in New Zealand Beef Cattle and Their Correlations with Maternal Performance. *Animals*. 12. 25. 10.3390/ani12010025.
- Zhao, X., Wang, Y., & Liu, J. (2020). Comparative analysis of growth performance, carcass characteristics, and meat quality of different beef cattle breeds under intensive feeding systems. *Meat Science*. 165. 108128. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108128>

**Габит Гулзат Габитовна** – сбор и анализ экспериментальных данных, интерпретация полученных результатов, подготовка научной публикации.

**Бекенов Даурен Маратович** – разработка методологии исследования, проведение лабораторных исследований, формулирование научной концепции и постановка задач.

**Ян Мичинский** – общее руководство исследованием, проверка и валидация результатов.



***K. Dossybayev<sup>1,2,3</sup>, S. Dikhanbay<sup>1,3</sup>, A.T. Kozhakhmet<sup>1,2,3</sup>, U.A. Akhmetov<sup>1\*</sup>***

<sup>1</sup>Kazakh Research Institute of Animal Breeding and Fodder Production, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Institute of Genetics and Physiology, Committee of Science, Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan;

<sup>3</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: [akhmetualikhan@gmail.com](mailto:akhmetualikhan@gmail.com)

## ASSESSMENT OF GENETIC DIVERSITY AND POPULATION STRUCTURE OF ADAI HORSE POPULATIONS BASED ON STR MARKERS

**Dossybayev K.Zh.**, PhD «Kazakh Research Institute of Livestock and Fodder Production» LLP, 51 Zhandosov St., Almaty 050035, Kazakhstan; Al-Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Ave., Almaty, Kazakhstan  
E-mail: [kairat1987\\_11@mail.ru](mailto:kairat1987_11@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1136-833X>;

**Dikhanbay S.**, Laboratory Assistant, LLP «Kazakh Research Institute of Livestock and Forage Production», 51 Zhandosov St., Almaty, 050035, Kazakhstan; Al-Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Ave., Almaty, Kazakhstan  
E-mail: [sagilev71@gmail.com](mailto:sagilev71@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0009-8926-3993>;

**Kozhakhmet A.T.** Master of Science, LLP «Kazakh Research Institute of Livestock and Forage Production», 51 Zhandosov St., Almaty, 050035, Kazakhstan; Al-Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Ave., Almaty, Kazakhstan  
E-mail: [altynaitg@gmail.com](mailto:altynaitg@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-7872-4752>;

**Akhmetov U.A.** – Master of Agricultural Sciences, LLP «Kazakh Research Institute of Livestock and Forage Production», 51 Zhandosov St., Almaty, 050035, Kazakhstan  
E-mail: [akhmetualikhan@gmail.com](mailto:akhmetualikhan@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0004-9399-6763>.

**Abstract.** The Adai horse represents one of Kazakhstan's valuable local genetic resources; however, molecular genetic data on the genetic diversity and population structure of individual farm populations remain limited. Therefore, this study aimed to assess the genetic diversity of three Adai horse populations and characterize their genetic structure using microsatellite markers. A total of 166 horses from the Mukhit (n=67), Darkhan (n=56), and Islam (n=43) farms were genotyped at 17 STR loci. Genetic diversity parameters were calculated using GenAlEx, while genetic relationships among the populations were assessed using factorial correspondence analysis (FCA) and Bayesian clustering. All investigated STR loci were polymorphic; the mean number of alleles was  $8.510 \pm 0.298$ , the mean effective number of alleles was  $5.008 \pm 0.209$ , and Shannon's information index was  $1.750 \pm 0.040$ . Observed heterozygosity ranged from 0.746 to 0.805 across populations, whereas expected heterozygosity ranged from 0.772 to 0.784. The overall FIS value indicated no pronounced heterozygote deficiency, while  $F_{ST}=0.018$  indicated a low level of genetic differentiation among the populations. A total of 29 private alleles were identified across the three populations. FCA and STRUCTURE analyses revealed weak genetic substructure among the populations; in the STRUCTURE analysis,  $K=3$  was identified as the most likely model, with shared genetic components and Admixture observed in all populations. The results indicate that a high level of genetic diversity and a shared genetic background are maintained in the studied Adai horse populations, while local genetic characteristics have also developed. These findings may be used to support the conservation of Adai horse genetic resources, monitor genetic diversity within populations, and facilitate scientifically informed breeding programs.

**Keywords:** Adai horse, STR markers, genetic diversity, microsatellites, heterozygosity,  $F_{ST}$ , population

structure, STRUCTURE, admixture

**For citation:** Dossybayev K., Dikhanbay S., Kozhakhmet A.T., Akhmetov U.A. (2026). Assessment of genetic diversity and population structure of adai horse populations based on STR markers // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 21–36. <https://doi.org/10.37884/4-2026/02> [In Kaz.].

**Conflict of interest:** The authors declare no conflicts of interest.

**Funding:** This study was funded by the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan, under the program BR22885681 «Improvement of existing methods for managing the genetic resources of Adai and Kostanay horses while preserving the gene pool of the Kostanay breed».

**К.Ж. Досыбаев<sup>1,2,3</sup>, С. Диханбай<sup>1,3</sup>, А.Т. Қожахмет<sup>1,2,3</sup>, У.А. Ахметов<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Қазақ мал шаруашылығы және жемшөп өндірісі ғылыми зерттеу институты, Алматы, Қазақстан;

<sup>2</sup>ҚР ҒЖБМ ҒК «Генетика және физиология институты», Алматы, Қазақстан;

<sup>3</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: akhmetualikhan@gmail.com

## STR МАРКЕРЛЕРІ НЕГІЗІНДЕ АДАЙ ЖЫЛҚЫСЫ ПОПУЛЯЦИЯЛАРЫНЫҢ ГЕНЕТИКАЛЫҚ ӘРТҮРЛІЛІГІ МЕН ПОПУЛЯЦИЯЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМЫН БАҒАЛАУ

**Досыбаев К.Ж.**, PhD, «Қазақ мал шаруашылығы және жемшөп өндірісі ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Жандосов көшесі, 51, Алматы, 050035, Қазақстан; әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даңғылы, 71, Алматы, Қазақстан

E-mail: kairat1987\_11@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1136-833X>;

**Диханбай С.**, лаборант, «Қазақ мал шаруашылығы және жемшөп өндірісі ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Жандосов көшесі, 51, Алматы қ., 050035, Қазақстан; әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даңғылы, 71, Алматы, Қазақстан

E-mail: sagilev71@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-8926-3993>;

**Қожахмет А.Т.**, жаратылыстану ғылымдарының магистрі, «Қазақ мал шаруашылығы және жемшөп өндірісі ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Жандосов көшесі, 51, Алматы қ., 050035, Қазақстан; әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даңғылы, 71, Алматы, Қазақстан

E-mail: altynaitg@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7872-4752>;

**Ахметов У.А.**, ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, «Қазақ мал шаруашылығы және жемшөп өндірісі ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Жандосов көшесі, 51, Алматы, 050035, Қазақстан

E-mail: akhmetualikhan@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-9399-6763>.

**Аннотация.** Адай жылқысы Қазақстанның жергілікті генетикалық ресурстарының бірі болып табылады, алайда оның жекелеген шаруашылық популяцияларындағы генетикалық әртүрлілік пен популяциялық құрылым туралы молекулалық-генетикалық деректер шектеулі. Осыған байланысты зерттеудің мақсаты Адай жылқысының үш популяциясындағы генетикалық әртүрлілікті бағалау және олардың генетикалық құрылымдану ерекшеліктерін микросателлиттік маркерлер негізінде анықтау болды. Зерттеуге Мұхит (n=67), Дархан (n=56) және Ислам (n=43) шаруашылықтарынан барлығы 166 жылқы алынып, 17 STR локусы бойынша генотиптелді. Генетикалық әртүрлілік көрсеткіштері GenAlEx бағдарламасында есептелді, ал популяциялар арасындағы генетикалық қатынастар факторлық сәйкестік талдауы (AFC) және Bayesian кластерлеу әдісімен бағаланды. Барлық зерттелген STR локустары полиморфты болды; аллельдердің орташа саны  $8,510 \pm 0,298$ , эффективті аллельдер саны  $5,008 \pm 0,209$ , ал Шеннонның ақпараттық индексі  $1,750 \pm 0,040$  құрады. Популяциялар бойынша байқалған гетерозиготалық  $0,746 - 0,805$ , ал күтілетін гетерозиготалық  $0,772 - 0,784$  аралығында өзгерді. Жалпы FIS мәні айқын гетерозигота тапшылығының байқалмағанын, ал  $FST = 0,018$  популяциялар арасындағы генетикалық дифференциацияның төмен екенін көрсетті. Үш популяцияда барлығы 29 дара аллель анықталды. AFC және STRUCTURE нәтижелері популяциялар арасында әлсіз генетикалық субқұрылымның бар екенін көрсетті; STRUCTURE талдауында  $K=3$  ең ықтимал модель болып, барлық популяцияларда ортақ генетикалық компоненттер мен Admixture байқалды. Нәтижелер зерттелген Адай жылқысы популяцияларында жоғары генетикалық әртүрлілік пен ортақ генетикалық не-

гіздің сақталғанын, сонымен қатар жергілікті генетикалық ерекшеліктердің қалыптасқанын көрсетті. Алынған деректер Адай жылқысының генетикалық ресурстарын сақтау, популяциялардағы генетикалық әртүрлілікті мониторингтеу және селекциялық жұмыстарды ғылыми негізде жоспарлау үшін пайдаланылуы мүмкін.

**Түйін сөздер:** Адай жылқысы, STR маркерлер, генетикалық әртүрлілік, микросателлиттер, гетерозиготалық, FST, популяциялық құрылым, STRUCTURE, admixture

**Дәйексөз үшін:** Досыбаев К.Ж., Диханбай С., Қожахмет А.Т., Ахметов У.А. (2026). STR маркерлері негізінде адай жылқысы популяцияларының генетикалық әртүрлілігі мен популяциялық құрылымын бағалау // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 4. Number 112. Рр. 21–36. <https://doi.org/10.37884/4-2026/02> [In Kaz.].

**Мүдделер қақтығысы:** авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

**Алғыс:** бұл ғылыми-зерттеу жұмысы 2024–2026 жылдарға арналған ғылыми, ғылыми-техникалық бағдарламалар бойынша бағдарламалық-нысаналы қаржыландыруға арналған конкурс (ҚР АШМ) негізінде «BR22885681 - Қостанай тұқымының генофондын сақтай отырып, Адай және Қостанай жылқыларының генетикалық ресурстарын басқарудың қолданыстағы әдістерін жетілдіру» атты жобасы аясында жүргізілген.

**К.Ж. Досыбаев<sup>1,2,3</sup>, С. Диханбай<sup>1,3</sup>, А.Т. Қожахмет<sup>1,2,3</sup>, У.А. Ахметов<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства, Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>Институт генетики и физиологии КН МНВО РК, Алматы, Казахстан;

<sup>3</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

E-mail: akhmetualikhan@gmail.com

## ОЦЕНКА ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ И ПОПУЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПОПУЛЯЦИЙ ЛОШАДЕЙ ПОРОДЫ АДАЙ НА ОСНОВЕ STR-МАРКЕРОВ

**Досыбаев К.Ж.**, PhD, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства», ул. Жандосова, 51, Алматы, 050035, Казахстан; Казахский национальный университет имени аль-Фараби, проспект аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан

E-mail: kairat1987\_11@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1136-833X>;

**Диханбай С.**, лаборант, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства», ул. Жандосова, 51, Алматы, 050035, Казахстан; Казахский национальный университет имени аль-Фараби, проспект аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан

E-mail: sagilev71@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-8926-3993>;

**Қожахмет А.Т.**, магистр естественных наук, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства», ул. Жандосова, 51, Алматы, 050035, Казахстан; Казахский национальный университет имени аль-Фараби, проспект аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан

E-mail: altynaitg@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7872-4752>;

**Ахметов У.А.**, магистр сельскохозяйственных наук, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства», ул. Жандосова, 51, Алматы, 050035, Казахстан

E-mail: akhmetualikhan@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-9399-6763>.

**Аннотация.** Адайская лошадь является одним из ценных местных генетических ресурсов Казахстана, однако молекулярно-генетические данные о генетическом разнообразии и популяционной структуре отдельных хозяйственных популяций остаются ограниченными. В связи с этим целью исследования являлась оценка генетического разнообразия трех популяций адайских лошадей и выявление особенностей их генетической структуры на основе микросателлитных маркеров. В исследование были включены 166 лошадей из хозяйств Мухит (n=67), Дархан (n=56) и Ислам (n=43), генотипированных по 17 STR-локусам. Показатели генетического разнообразия рассчитывали с использованием программы GenAlEx, а генетические взаимоотношения между популяциями оценивали методом факторного анализа соответствий (AFC) и байесовской кластеризации. Все исследованные STR-локусы были полиморфными; среднее число аллелей составило  $8,510 \pm 0,298$ , эффективное число аллелей –

5,008±0,209, а информационный индекс Шеннона – 1,750±0,040. Наблюдаемая гетерозиготность в популяциях варьировала от 0,746 до 0,805, а ожидаемая гетерозиготность – от 0,772 до 0,784. Общее значение FIS свидетельствовало об отсутствии выраженного дефицита гетерозигот, тогда как FST=0,018 указывало на низкий уровень генетической дифференциации между популяциями. В трех популяциях было выявлено в общей сложности 29 частных аллелей. Результаты AFC и STRUCTURE выявили наличие слабой генетической субструктуры между популяциями; при анализе STRUCTURE наиболее вероятной оказалась модель K=3, при этом во всех популяциях наблюдались общие генетические компоненты и признаки Admixture. Полученные результаты свидетельствуют о сохранении высокого уровня генетического разнообразия и общей генетической основы в исследованных популяциях адайских лошадей наряду с формированием локальных генетических особенностей. Полученные данные могут быть использованы для сохранения генетических ресурсов адайской лошади, мониторинга генетического разнообразия популяций и научно обоснованного планирования селекционной работы.

**Ключевые слова:** лошадь породы Адай, STR-маркеры, генетическое разнообразие, микросателлиты, гетерозиготность, FST, популяционная структура, STRUCTURE, admixture

**Для цитирования:** Досыбаев К.Ж., Диханбай С., Кожахмет А.Т., Ахметов У.А. (2026). Оценка генетического разнообразия и популяционной структуры популяций лошадей породы адай на основе STR-маркеров // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 21–36. <https://doi.org/10.37884/4-2026/02> [In Russ.].

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Благодарность:** данная работа выполнена в рамках проекта BR22885681 «Совершенствование существующих приёмов управления генетическими ресурсами адайских и кустанайских лошадей с сохранением генофонда кустанайской породы», финансируемого Министерством сельского хозяйства Республики Казахстан на 2024–2026 гг.

## Кіріспе.

Қазақстандағы жылқы шаруашылығы елімізде мал шаруашылығы саласында маңызды орынға ие. Қазақстанның кең жайылымдық аумақтары және жыл бойы табиғи жайылымда ұстау жүйесі қоршаған орта жағдайларына жақсы бейімделген жылқы тұқымдарының қалыптасуына ықпал етті [Барминцев, 1958: 281; Нурушев, 2005: 383]. Нәтижесінде еліміздің батыс және оңтүстік-батыс өңірлерінде, әсіресе Арал-Каспий аймағы мен Маңғыстау түбегінде Адай жылқысы қалыптасты. Адай жылқысының қалыптасуы, биологиялық және шаруашылық ерекшеліктері отандық зерттеушілердің еңбектерінде жан-жақты қарастырылған. Ю.Н. Барминцевтың зерттеу нәтижелері жергілікті жылқы тұқымдары мен типтері ұзақ мерзімді халықтық сұрыптау мен табиғи-климаттық жағдайлардың әсерінен қалыптасқанын дәлелдейді. Кейін М.Ж. Нурушев [Нурушев, 2005: 383]. Адай жылқысының эволюциясын, қазіргі жағдайын және оны өсіру перспективаларын кешенді түрде сипаттап, оның Қазақстанның батыс өңіріндегі маңызды жергілікті генетикалық ресурс екенін көрсетті. Адай жылқысының генофондын сақтау және селекциялық тұрғыдан пайдалану мәселелері кейінгі зерттеулерде де жалғасын тауып келеді [Нурушев, 2007: 127–128].

Адай жылқысы ұзақ уақыт бойы қазақ жылқысының жергілікті типтерінің бірі ретінде қарастырылып келді. Оның қалыптасуына жергілікті қазақ жылқыларымен қатар көршілес аймақтардың салт мінетін жылқыларының тарихи ықпалы болған. Соңғы жылдары жүргізілген селекциялық жұмыстардың нәтижесінде Адай жылқысының мәртебесі нақтыланып, ол жеке тұқым ретінде ресми танылды. Адай жылқысының негізгі ерекшеліктеріне шөл және шөлейт аймақтардың табиғи-климаттық жағдайларына бейімділігі, жайылымдық жағдайда жыл бойы ұстауға төзімділігі, жүрдектігі және салт мінуге жарамдылығы жатады [Нурушев, 2005: 383; Нурушев, 2007: 127–128; Kabylybekova және т.б., 2024].

Жергілікті жылқы тұқымдарын сақтау мен тиімді пайдалану олардың фенотиптік және өнімділік ерекшеліктерін бағалаумен ғана шектелмейді. Популяциялардың генетикалық әртүрлілігі олардың бейімделу әлеуетін, селекциялық мүмкіндіктерін және ұзақ мерзімді тұрақтылығын анықтайтын негізгі факторлардың бірі болып табылады. Осыған байланысты молекулалық-генетикалық маркерлер жергілікті жылқы популяцияларындағы генетикалық өзгергіштікті, туыстық қатынастарды, инбридинг деңгейін және популяциялық құрылымды зерттеудің маңызды құралына айналды [Gemingguli және т.б., 2016; Kargayeva және т.б., 2020: 55–61].

Қазақстан жылқыларының молекулалық-генетикалық зерттеулері бірнеше кезеңде дамыды.

Алғашқы зерттеулерде митохондриялық ДНҚ маркерлері қолданылып, қазақ жылқыларының аналық линияларының жоғары әртүрлілігі және әртүрлі географиялық популяциялар арасында ортақ гаплотиптердің болуы анықталды [Gemingguli және т.б., 2016]. Кейін микросателлиттік немесе қысқа тандемді қайталанымдар (STR) негізіндегі зерттеулер Қазақстанның жергілікті жылқы популяцияларындағы генетикалық полиморфизмді бағалауға мүмкіндік берді [Beyshova және т.б., 2013: 85–91].

Генетикалық маркерлердің ішінде STR-локустары жоғары полиморфтылығымен, кодоминантты тұқым қуалауымен және геномда кең таралуымен ерекшеленеді. Осы қасиеттеріне байланысты олар жылқы популяцияларындағы генетикалық әртүрлілік пен өзгергіштікті, генетикалық дифференциацияны және популяциялық құрылымды бағалауда кеңінен қолданылды. Қазақстанда микросателлиттік маркерлер алғашында Қостанай және Мұғалжар сияқты отандық жылқы тұқымдарының генетикалық құрылымын сипаттау үшін пайдаланылды. Қостанай жылқысының негізгі аталық линияларын 17 микросателлиттік locus бойынша зерттеу олардың аллельдер құрамы мен жиіліктерінде айырмашылықтар бар екенін және жекелеген линияларда гетерозиготалар тапшылығы байқалатынын көрсетті [Beyshova және т.б., 2013: 85–91]. Мұғалжар жылқысының Қожамберді типіне жүргізілген микросателлиттік талдаулар да аталған популяцияның жоғары генетикалық әртүрлілікпен сипатталатынын көрсетті [Сыдыков және т.б., 2017: 25–25].

Адай жылқысына молекулалық-генетикалық әдістерді қолдану кейінгі зерттеулерде жүзеге асырылды. Каргаева және әріптестері Адай типті қазақ жылқыларының генетикалық құрылымын STR-маркерлер арқылы зерттеп, Маңғыстау аймағында өсірілетін жылқылар арасында популяция ішілік генетикалық дифференциацияның бар екенін көрсетті [Kargayeva және т.б., 2020: 55–61]. Кейін Адай жылқысының биологиялық және өнімділік қасиеттерін генетикалық параметрлермен байланыстыра зерттеу барысында микросателлиттік ДНҚ локустарының полиморфизмі де қарастырылып, молекулалық маркерлерді Адай жылқысының селекциялық-генетикалық мониторингінде пайдалану қажеттілігі негізделді [Каргаева, 2022].

Соңғы жылдары жоғары тығыздықтағы геномдық маркерлер негізінде отандық жылқы тұқымдары зерттеле бастады. Мысалы, Адай, Жабы, Найман және Қазақстанның басқа да жылқы популяцияларын толық-геномдық SNP генотиптеу арқылы зерттеу жергілікті жылқы тұқымдарының генетикалық құрылымына сипаттама берілді [Pozharskiy және т.б., 2023]. Сонымен қатар соңғы митохондриялық зерттеулер Қазақстанның жергілікті жылқыларында жоғары аналық генетикалық әртүрлілік сақталғанын және тұқымдар арасындағы генетикалық құрылымның салыстырмалы түрде әлсіз екенін көрсетеді [Ualiyeva және т.б., 2026].

Жоғарыда аталған алдыңғы зерттеулердің едәуір бөлігі Адай жылқысын тұтас популяция немесе басқа қазақ жылқыларымен салыстырылатын бір генетикалық топ ретінде қарастырған. Осыған орай Адай жылқысының әртүрлі шаруашылықтарда өсірілетін субпопуляцияларының генетикалық әртүрлілігі мен өзгергіштігі, инбридинг көрсеткіштері, генетикалық дифференциация және құрылымын салыстырмалы зерттеу өзекті болып табылады. Мұндай зерттеу жұмыстары Адай жылқысын өсіретін жекелеген шаруашылықтар арасындағы генетикалық байланыс пен ықтимал субқұрылымды анықтау және тұқымның генетикалық ресурстарын сақтау, селекциялық жұмыстарды ғылыми негізде ұйымдастыру үшін маңызды.

Осыған байланысты зерттеудің мақсаты – 17 микросателлиттік STR-маркер негізінде Адай жылқысының Мұхит, Дархан және Ислам шаруашылықтарында өсірілетін популяцияларының генетикалық әртүрлілігін, генетикалық дифференциациясын және популяциялық құрылымын талдау болып табылады.

### **Материалдар мен әдістер.**

Зерттеуге Адай жылқысының үш популяциясына жататын барлығы 166 дара алынды. Оның ішінде Мұхит шаруашылығынан 67 бас, Дархан шаруашылығынан 56 бас және Ислам шаруашылығынан 43 бас жылқы зерттелді. Молекулалық-генетикалық талдау үшін әр дарадан биологиялық материал ретінде түбір фолликулалары сақталған жал қылшықтарының үлгілері жиналды. Алынған биологиялық үлгілер жеке таңбаланып, арнайы қағаз қораптарға салынды, келесі ретте ДНҚ-генотиптеу жұмыстарында пайдаланылды.

Адай жылқысы популяцияларының генетикалық әртүрлілігін бағалау үшін COrDIS Horse мультиплексті STR-панелі қолданылды. Амплификация өнімдеріне фрагменттік талдау капиллярлық электрофорез әдісімен *SeqStudio Genetic Analyzer* генетикалық құралында жүргізілді. Алынған электрофо-

реграммалардағы фрагменттердің өлшемдері мен STR-аллельдері *GeneMapper* бағдарламасы арқылы анықталды. Нәтижесінде әр дара үшін 17 STR локусы бойынша диплоидты генотиптік профиль қалыптастырылды.

Популяцияішілік және популяциялар арасындағы генетикалық әртүрліліктің негізгі көрсеткіштері *GenAlEx* бағдарламалық ортасында есептелді. Әр локус және популяция үшін аллельдер саны ( $N_a$ ), эффективті аллельдер саны ( $N_e$ ), Шеннонның ақпараттық индексі ( $I$ ), байқалған гетерозиготалық ( $H_o$ ), күтілетін гетерозиготалық ( $H_e$ ) және үлгі көлеміне түзетілген күтілетін гетерозиготалық ( $uHe$ ) анықталды. Сонымен қатар гетерозиготалардың күтілетін деңгейден ауытқуын бағалау үшін фиксация индексі ( $F$ ) есептелді. Популяцияларға тән дара аллельдер (*private alleles*) анықталып, олардың әр популяциядағы кездесу жиіліктері есептелді.

Популяцияішілік және популяциялараралық генетикалық дифференциацияны сипаттау үшін Райттың F-статистикалық көрсеткіштері –  $F_{IS}$ ,  $F_{IT}$  және  $F_{ST}$  есептелді. Популяциялар арасындағы ген ағынының теориялық деңгейі  $Nm$  көрсеткіші арқылы бағаланды. Үш популяция арасындағы генетикалық ұқсастық пен айырмашылықтарды бағалау үшін *Nei* бойынша үлгі көлеміне түзетілген генетикалық дистанция (*Nei's Unbiased Genetic Distance*) және популяциялар арасындағы жұптық  $F_{ST}$  көрсеткіштері есептелді [Nei, 1978].

Зерттелген даралардың генотиптері негізіндегі генетикалық қатынастарын және популяциялар арасындағы құрылымдық ерекшеліктерін бағалау үшін *GENETIX* бағдарламасы қолданылды [Belkhir және т.б., 2004].

Зерттелген Адай жылқысы популяцияларының генетикалық құрылымын бағалау үшін *Bayesian clustering* әдісіне негізделген *STRUCTURE* v2.3.4 бағдарламасы қолданылды.

Ықтимал генетикалық кластерлер саны  $K = 1-5$  аралығында бағаланды. Әр *STRUCTURE* талдауы үшін бастапқы burn-in кезеңі 100 000 итерацияны, одан кейінгі *Markov chain Monte Carlo (MCMC)* кезеңі 200 000 итерацияны құрады [Pritchard et al., 2000]. Талдау даралардың аралас генетикалық тектілігіне мүмкіндік беретін *Admixture model* және кластерлер арасындағы аллель жиіліктерінің өзара байланысын ескеретін *Correlated allele frequencies model* негізінде жүргізілді [Falush және т.б., 2003].

Әртүрлі  $K$  мәндері үшін алынған нәтижелер негізінде модельдердің ықтималдығын сипаттайтын  $LnP(K)$  көрсеткіштері салыстырылды. Генетикалық кластерлердің оңтайлы санын анықтау үшін *Evanno* әдісіне негізделген  $\Delta K$  критерийі қолданылды [Evanno және т.б., 2005].

Статистикалық және популяциялық-генетикалық талдаулардан алынған нәтижелерді өңдеу, графикалық визуализациялау және суреттерді жарияланым форматына келтіру R статистикалық бағдарламалау ортасында жүргізілді.

Генетикалық әртүрлілік көрсеткіштерін ( $N_a$ ,  $N_e$ ,  $I$ ,  $H_o$ ,  $H_e$ ,  $F$  және т.б.) өңдеу және визуализациялау барысында *ggplot2*, *dplyr* және *tidyr* пакеттері қолданылды. *dplyr* деректерді сұрыптау және түрлендіру, *tidyr* деректер құрылымын графикалық талдауға бейімдеу, ал *ggplot2* негізгі статистикалық графиктерді құру және безендіру үшін пайдаланылды.

*Nei* генетикалық дистанциясы мен жұптық  $F_{ST}$  көрсеткіштерін салыстырмалы түрде бейнелейтін жылу карталарын (*heatmap*) құру кезінде *ggplot2*, *dplyr*, *tidyr* пакеттерімен қатар әртүрлі графикалық шкалаларды бір суретте қолдануға мүмкіндік беретін *ggnewscale* пакеті пайдаланылды. Популяциялардағы гетерозиготалық және басқа генетикалық көрсеткіштерді радарлық диаграмма түрінде көрсету үшін *fmsb* пакеті қолданылды.

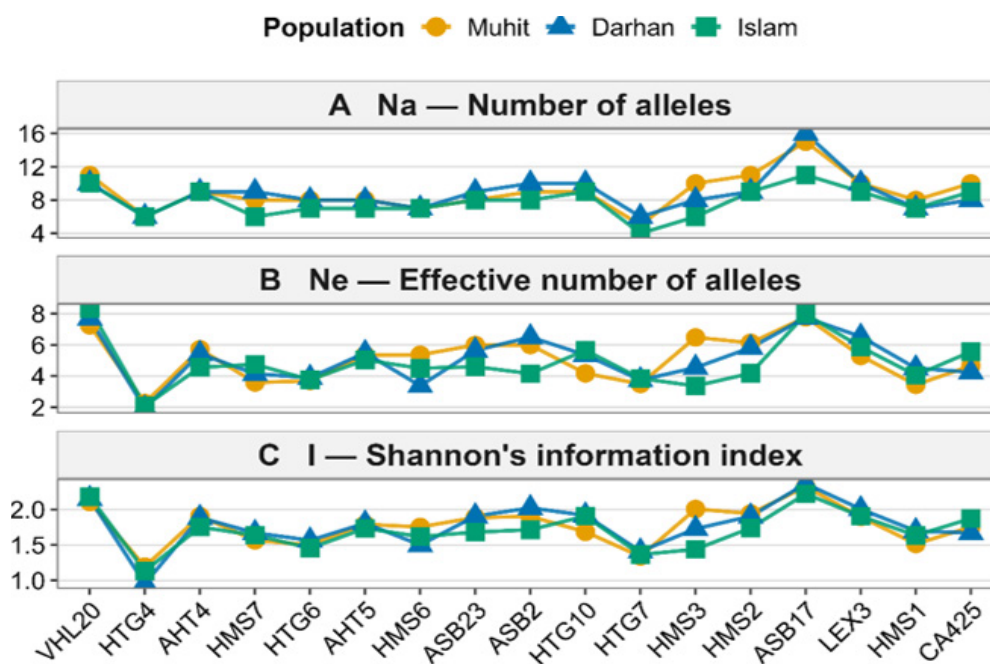
### Нәтижелер.

Адай жылқысының үш популяциясындағы генетикалық әртүрлілікті бағалау мақсатында 17 микросателлиттік локус бойынша аллельдік көрсеткіштер есептелді (Сурет – 1). Зерттеуге барлығы 166 дара алынды, оның ішінде Мұхит шаруашылығынан – 67, Дархан шаруашылығынан – 56 және Ислам шаруашылығынан – 43 бас жылқы болды.

Зерттелген локустар бойынша аллельдер саны төрттен он алтыға дейін ауытқыды. Ең жоғары аллельдік әртүрлілік ASB17 локусында байқалды: Мұхит популяциясында 15, Дархан популяциясында 16 және Ислам популяциясында 11 аллель анықталды. VHL20 локусы да жоғары аллельдік әртүрлілікпен сипатталып, популяцияларға байланысты 10–11 аллельді қамтыды.

Ең төмен аллельдер саны HTG7 локусында анықталды. Бұл локус бойынша Мұхит популяциясында бес, Дархан популяциясында алты және Ислам популяциясында төрт аллель анықталды. HTG4 локусында барлық популяцияда алты аллельден анықталды.

Эффективті аллельдер саны зерттелген локустар бойынша 1,914-тен 8,329-ға дейін өзгерді. Ең жоғары эффективті аллельдер саны VHL20 локусында байқалды, оның мәні Ислам популяциясында 8,329 болды. ASB17 локусы да жоғары эффективті аллельдік әртүрлілікпен сипатталып, бұл көрсеткіш Мұхит, Дархан және Ислам популяцияларында тиісінше 7,773, 7,746 және 7,970 мәндерін құрады. Сонымен қатар ASB2 локусы бойынша эффективті аллельдер саны Мұхит популяциясында 5,989, Дархан популяциясында 6,499 және Ислам популяциясында 4,155 болды. Ең төмен эффективті аллельдер саны HTG4 локусында анықталды. Бұл локус бойынша Ne көрсеткіші Мұхит популяциясында 2,265, Дархан популяциясында 1,914 және Ислам популяциясында 2,088 болды. Салыстырмалы түрде төмен мәндер HTG7 локусында да байқалып, популяцияларға байланысты 3,491–3,840 аралығында өзгерді.



Сур. 1. Зерттеуге алынған үш популяция бойынша генетикалық әртүрлілік көрсеткіштерінің салыстырмалы нәтижесі.  
[Fig. 1. Comparative analysis of genetic diversity parameters among the three studied populations].

Шеннонның ақпараттық индексі зерттелген локустар бойынша 0,955-тен 2,363-ке дейін өзгерді. Ең жоғары индекс ASB17 локусында анықталды: Мұхит популяциясында 2,322, Дархан популяциясында 2,363 және Ислам популяциясында 2,221 болды. VHL20 локусы да жоғары ақпараттылықпен сипатталып, Шеннон индексі Мұхит популяциясында 2,105, Дархан популяциясында 2,152 және Ислам популяциясында 2,180 мәндерін құрады. Сонымен қатар ASB2 локусында бұл көрсеткіш тиісінше 1,902, 2,023 және 1,715 болды.

Ең төмен Шеннон индексі HTG4 локусында анықталды. Бұл локус бойынша көрсеткіш Мұхит популяциясында 1,196, Дархан популяциясында 0,955 және Ислам популяциясында 1,133 болды. Төменірек ақпараттық мәндер HTG7 локусында да байқалып, үш популяцияда 1,339–1,412 аралығында өзгерді. Жалпы алғанда, VHL20 және ASB17 локустары жоғары эффективті аллельдер саны мен Шеннон индексінің мәндері бойынша ең ақпаратты маркерлер ретінде ерекшеленді, ал HTG4 локусы салыстырмалы түрде төмен генетикалық әртүрлілік көрсетті.

Популяциялар арасында аллельдердің орташа саны Мұхит популяциясында  $8,941 \pm 0,546$ , Дархан популяциясында  $8,824 \pm 0,551$  және Ислам популяциясында  $7,765 \pm 0,425$  мәндерді көрсетті. Эффективті аллельдер саны тиісінше  $5,096 \pm 0,362$ ,  $5,092 \pm 0,372$  және  $4,838 \pm 0,373$  мәндерін құрады. Шеннонның ақпараттық индексі Дархан популяциясында  $1,775 \pm 0,077$ , Мұхит популяциясында  $1,769 \pm 0,068$  және Ислам популяциясында  $1,706 \pm 0,066$  болды.

Барлық зерттелген микросателлиттік локустар үш популяцияда да 100 % полиморфты болды. Жалпы үш популяция бойынша бір локусқа шаққандағы аллельдердің орташа саны  $8,510 \pm 0,298$ , ал эффективті аллельдердің орташа саны  $5,008 \pm 0,209$  болды. Шеннонның ақпараттық индексі  $1,750 \pm 0,040$  мәніне тең екені анықталды.

Кесте 1. Адай жылқысының зерттелген популяциялары бойынша генетикалық әртүрлілік және өзгергіштік көрсеткіштерінің орташа мәндері

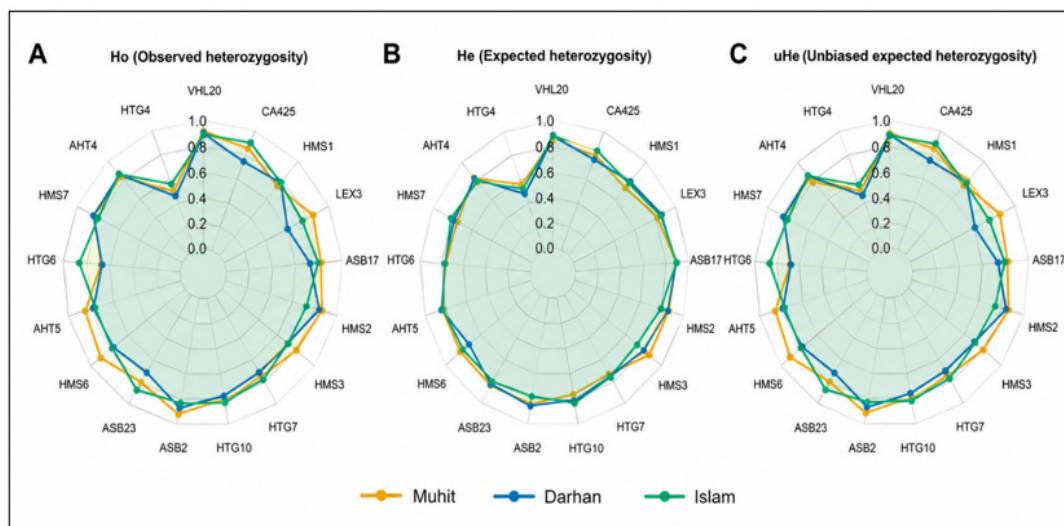
| Популяция | Көрсеткіш  | Na    | Ne    | I     | Ho    | He    | uHe   | F      |
|-----------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Мұхит     | Орташа мән | 8,941 | 5,096 | 1,769 | 0,805 | 0,784 | 0,789 | -0,026 |
|           | SE         | 0,546 | 0,362 | 0,068 | 0,025 | 0,019 | 0,019 | 0,018  |
| Дархан    | Орташа мән | 8,824 | 5,092 | 1,775 | 0,746 | 0,781 | 0,788 | 0,043  |
|           | SE         | 0,551 | 0,372 | 0,077 | 0,027 | 0,022 | 0,022 | 0,024  |
| Ислам     | Орташа мән | 7,765 | 4,838 | 1,706 | 0,786 | 0,772 | 0,781 | -0,021 |
|           | SE         | 0,425 | 0,373 | 0,066 | 0,020 | 0,019 | 0,020 | 0,019  |
| Барлығы   | Орташа мән | 8,510 | 5,008 | 1,750 | 0,779 | 0,779 | 0,786 | -0,001 |
|           | SE         | 0,298 | 0,209 | 0,040 | 0,014 | 0,011 | 0,012 | 0,012  |

Ескерту: Na – аллельдердің орташа саны; Ne – эффективті аллельдердің орташа саны; I – Шеннонның ақпараттық индексі; Ho – байқалған гетерозиготалық; He – күтілетін гетерозиготалық; uHe – үлгі көлеміне түзетілген күтілетін гетерозиготалық; F – фиксация индексі;

SE – стандарттық қате.

Зерттелген популяциялардың генетикалық өзгергіштігін бағалау үшін байқалған гетерозиготалық (Ho), күтілетін гетерозиготалық (He), үлгі көлеміне түзетілген күтілетін гетерозиготалық (uHe) және инбридинг коэффициенті (F) есептелді (Сурет – 2 және 3).

Байқалған гетерозиготалық (Ho) зерттелген локустар бойынша 0,446-дан 0,925-ке дейін өзгерді. Ең жоғары Ho мәні VHL20 және ASB2 локустарында Мұхит популяциясында анықталып, 0,925 болды. Сонымен қатар VHL20 локусы Дархан және Ислам популяцияларында да жоғары гетерозиготалықпен сипатталып, Ho көрсеткіші тиісінше 0,911 және 0,884 мәндерін құрады. Байқалған гетерозиготалық AHT4, HMS6 және CA425 локустарында да салыстырмалы түрде жоғары екені анықталды. Ең төмен Ho мәні HTG4 локусында байқалып, Дархан популяциясында 0,446, Мұхит популяциясында 0,493, ал Ислам популяциясында 0,558 болды.



Сур. 2. Зерттеуге алынған үш популяция бойынша генетикалық өзгергіштік көрсеткіштері.

[Fig. 2. Genetic variability parameters in the three studied populations].

Күтілетін гетерозиготалық (He) көрсеткіштері 0,478-ден 0,880-ге дейін өзгерді. Ең жоғары He мәні VHL20 локусында анықталып, Ислам популяциясында 0,880 болды. Сонымен қатар күтілетін гетерозиготалық ASB17, HMS3, HMS2, ASB23 және LEX3 локустарында да жоғары екені байқалды, олардың He мәндері негізінен 0,80-ден жоғары болды. Ең төмен He көрсеткіші HTG4 локусында анықталып, Дархан популяциясында 0,478, Ислам популяциясында 0,521, ал Мұхит популяциясында 0,558 болды.

Үлгі көлеміне түзетілген күтілетін гетерозиготалық (uHe) көрсеткіштері He мәндеріне ұқсас таралу сипаттап, 0,482-ден 0,890-ға дейін өзгерді. Ең жоғары uHe мәні VHL20 локусында Ислам популяциясында (0,890) анықталды, ал ең төмен көрсеткіш HTG4 локусында Дархан популяциясында

(0,482) байқалды. Үш популяция бойынша uHe мәндерінің He көрсеткіштерінен сәл жоғары болуы пайдаланылған түзетудің үлгі көлемінің айырмашылығын ескеретінін көрсетті.

Локустар бойынша фиксация индексінің (F) мәндері -0,172 мен 0,292 аралығында өзгерді. Ең төмен, яғни ең теріс F мәні HTG6 локусында Ислам популяциясында (-0,172) анықталды. Сонымен қатар теріс F мәндері HMS7, ASB2, АНТ4, VHL20, СА425 және басқа да бірқатар локустарда тіркеліп, бұл локустар бойынша байқалған гетерозиготалықтың күтілетін деңгейден жоғары екенін көрсетті.

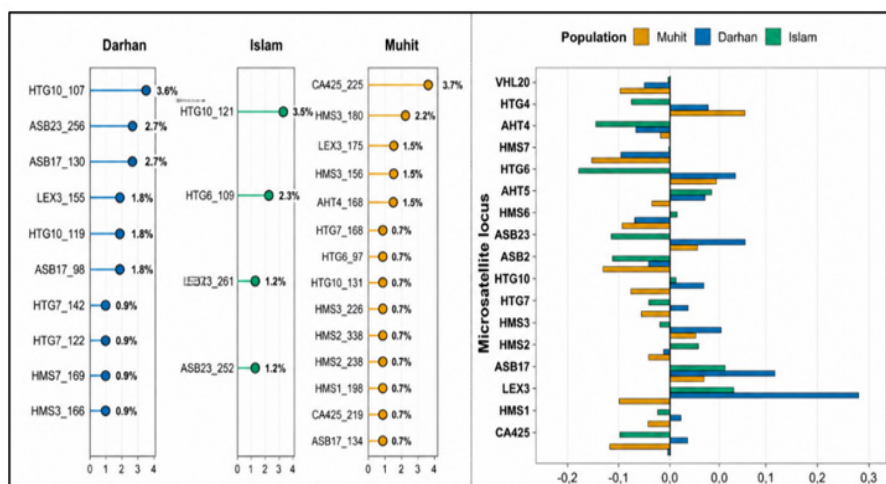
Керісінше, ең жоғары оң F мәні LEX3 локусында Дархан популяциясында (0,292) анықталды. Сондай-ақ салыстырмалы түрде жоғары оң мәндер ASB17 (0,165), ASB23 (0,132), HTG6 (0,111) және LEX3 локустарында Ислам популяциясында (0,103) байқалды.

Популяциялар бойынша орташа байқалған гетерозиготалық Мұхит популяциясында  $0,805 \pm 0,025$ , Ислам популяциясында  $0,786 \pm 0,020$  және Дархан популяциясында  $0,746 \pm 0,027$  болды. Күтілетін гетерозиготалық көрсеткіштері үш популяция арасында айтарлықтай айырмашылық көрсетпей, тиісінше  $0,784 \pm 0,019$ ,  $0,772 \pm 0,019$  және  $0,781 \pm 0,022$  мәндерін құрады. Үлгі көлеміне түзетілген күтілетін гетерозиготалық (uHe) Мұхит, Дархан және Ислам популяцияларында сәйкесінше  $0,789 \pm 0,019$ ,  $0,788 \pm 0,022$  және  $0,781 \pm 0,020$  болды. Фиксация индексінің орташа мәні Мұхит популяциясында  $-0,026 \pm 0,018$ , Ислам популяциясында  $-0,021 \pm 0,019$ , ал Дархан популяциясында  $0,043 \pm 0,024$  болды.

Зерттелген үш популяция бойынша барлығы 29 дара аллель анықталды. Олардың ішінде ең көп дара аллельдер Мұхит популяциясында табылды (14 аллель), Дархан популяциясында 10, ал Ислам популяциясында 5 дара аллель анықталды (Сурет – 3).

Дара аллельдер жалпы 12 микросателлиттік локуста кездесті. Олардың ең көп саны HMS3 және HTG10 локустарында анықталды (әрқайсысында төрт аллель). Сонымен қатар ASB17, ASB23, HTG7 және LEX3 локустарында үштен, HMS2, HTG6 және СА425 локустарында екіден, ал АНТ4, HMS1 және HMS7 локустарында бір-бірден дара аллель табылды.

Дара аллельдердің жиілігі 0,007-ден 0,037-ге дейін аралықта екені байқалды. Ең жоғары жиілік Мұхит популяциясындағы СА425 локусының 225 аллелінде (0,037) және Дархан популяциясындағы HTG10 локусының 107 аллелінде (0,036) анықталды. Ислам популяциясында ең жоғары жиілік HTG10 локусындағы 121 аллельге тиесілі болып, 0,035 құрады. Жалпы алғанда, анықталған дара аллельдердің басым бөлігі төмен жиілікте (0,007–0,027) кездесті.



Сур.3. Әр популяция бойынша анықталған дара аллельдер мен олардың кездесу жиілігі (сол жақта) және инбридинг дәрежесі (оң жақта).

[Fig. 3. Private alleles and their frequencies in each population (left) and the degree of inbreeding (right)].

Адай жылқысының зерттелген үш популяциясындағы генетикалық құрылым мен дифференциация деңгейін бағалау үшін Райт F-статистикалары –  $F_{IS}$ ,  $F_{IT}$  және  $F_{ST}$ , сондай-ақ ген ағынының теориялық көрсеткіші  $N_m$  есептелді.

Локустар бойынша  $F_{IS}$  мәні -0,087-ден 0,112-ге дейін өзгерді. Ең жоғары мәндер LEX3 ( $F_{IS} = 0,112$ ) және ASB17 ( $F_{IS} = 0,106$ ) локустарында анықталып, осы маркерлер бойынша гетерозиготалардың салыстырмалы тапшылығына ие болды. Керісінше, HMS7 ( $F_{IS} = -0,087$ ), ASB2 ( $F_{IS} = -0,082$ ), АНТ4 ( $F_{IS} = -0,054$ ), СА425 ( $F_{IS} = -0,046$ ) және HMS6 ( $F_{IS} = -0,045$ ) локустарында гетерозиготалардың артықшылығы байқалды.

Популяциялар арасындағы генетикалық дифференциацияның деңгейін анықтау үшін  $F_{ST}$  мәні есептелді. Локустар бойынша  $F_{ST}$  мәні 0,007-ден 0,044-ке дейін өзгерді. Ең жоғары генетикалық дифференциация LEX3 локусында анықталды ( $F_{ST}=0,044$ ). Одан кейін ASB23 ( $F_{ST}=0,036$ ), HMS7 ( $F_{ST}=0,027$ ), HMS6 ( $F_{ST}=0,025$ ) және HTG10 ( $F_{ST}=0,024$ ) локустары ерекшеленді. Ең төмен  $F_{ST}$  мәндері VHL20, HTG6 және АНТ5 локустарында анықталды.

Барлық популяциялар біртұтас генетикалық жиынтық ретінде қарастырылған кездегі жалпы фиксация индексі үшін  $F_{IT}$  мәні есептелді. Локустар бойынша  $F_{IT}$  мәні -0,060 пен 0,151 аралығында өзгерді. Ең жоғары көрсеткіш LEX3 локусында анықталды ( $F_{IT}=0,151$ ), бұл осы локус бойынша барлық популяциялар біріктірілген кезде гетерозиготалардың айқын тапшылығы байқалғанын көрсетеді. Сонымен қатар ASB17 ( $F_{IT}=0,113$ ), ASB23 ( $F_{IT}=0,065$ ), HMS3 ( $F_{IT}=0,061$ ), HTG4 ( $F_{IT}=0,047$ ) және АНТ5 ( $F_{IT}=0,042$ ) локустарында оң мәндер анықталды. Керісінше, ASB2 ( $F_{IT}=-0,060$ ), HMS7 ( $F_{IT}=-0,058$ ), АНТ4 ( $F_{IT}=-0,041$ ), VHL20 ( $F_{IT}=-0,034$ ) және СА425 ( $F_{IT}=-0,032$ ) локустарындағы мәндер гетерозиготалардың күтілетін деңгейден артық болғанын көрсетті. Локустар бойынша ( $N_m$ ) мәні 5,386-дан 36,699-ға дейін өзгерді. Ең жоғары ген ағыны VHL20 локусында ( $N_m=36,699$ ), ал ең төмен көрсеткіш LEX3 локусында ( $N_m=5,386$ ) анықталды.

Үш популяция бойынша есептелген F-статистикалардың орташа мәндері  $F_{IS}=0,000\pm 0,014$ ,  $F_{IT}=0,018\pm 0,014$  және  $F_{ST}=0,018\pm 0,003$  көрсетті. Ген ағынының теориялық орташа көрсеткіші  $N_m=18,876\pm 2,650$  болды.

Кесте 2. зерттеуге алынған үш популяция бойынша генетикалық құрылым мен дифференциация деңгейі.

| Локус               | FIS               | FIT               | FST               | Nm                 |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| VHL20               | -0,041            | -0,034            | 0,007             | 36,699             |
| HTG4                | 0,039             | 0,047             | 0,008             | 29,523             |
| АНТ4                | -0,054            | -0,041            | 0,013             | 18,940             |
| HMS7                | -0,087            | -0,058            | 0,027             | 9,096              |
| HTG6                | 0,006             | 0,013             | 0,007             | 34,486             |
| АНТ5                | 0,035             | 0,042             | 0,007             | 34,094             |
| HMS6                | -0,045            | -0,019            | 0,025             | 9,877              |
| ASB23               | 0,030             | 0,065             | 0,036             | 6,701              |
| ASB2                | -0,082            | -0,060            | 0,020             | 12,356             |
| HTG10               | 0,005             | 0,029             | 0,024             | 10,228             |
| HTG7                | -0,017            | -0,008            | 0,009             | 28,534             |
| HMS3                | 0,043             | 0,061             | 0,019             | 12,903             |
| HMS2                | 0,001             | 0,021             | 0,020             | 11,947             |
| ASB17               | 0,106             | 0,113             | 0,008             | 30,829             |
| LEX3                | 0,112             | 0,151             | 0,044             | 5,386              |
| HMS1                | -0,010            | 0,012             | 0,022             | 11,146             |
| СА425               | -0,046            | -0,032            | 0,014             | 18,139             |
| Орташа мән $\pm$ SE | 0,000 $\pm$ 0,014 | 0,018 $\pm$ 0,014 | 0,018 $\pm$ 0,003 | 18,876 $\pm$ 2,650 |

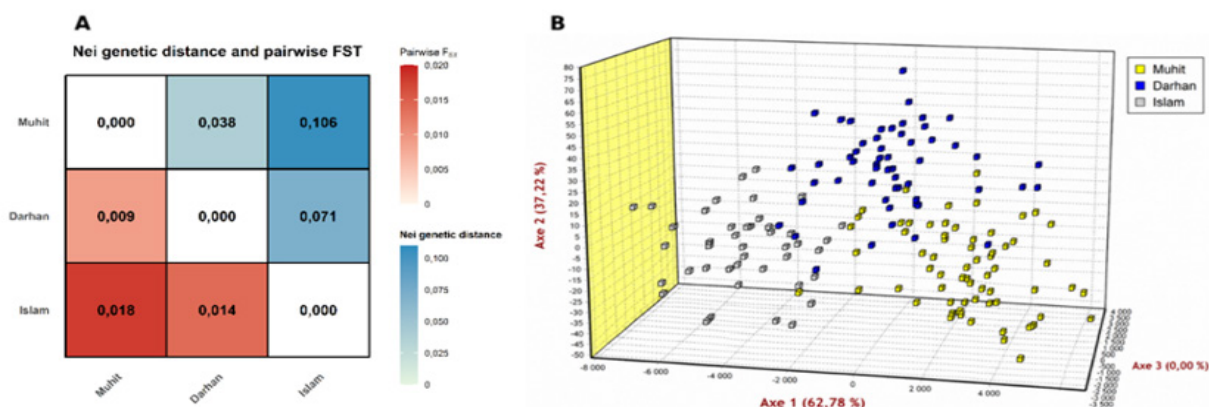
Популяциялар арасындағы генетикалық қатынастарды бағалау үшін  $N_{ei}$  бойынша үлгі көлеміне түзетілген генетикалық дистанциясы (*Nei Unbiased Genetic Distance*) және жұптық  $F_{ST}$  көрсеткіштері есептелді (Сурет – 4А).

$N_{ei}$ -дің түзетілген генетикалық дистанциясы бойынша ең төмен мән Мұхит пен Дархан популяциялары арасында анықталып, 0,038 болды. Дархан мен Ислам популяциялары арасындағы генетикалық дистанция 0,071, ал ең жоғары мән Мұхит пен Ислам популяциялары арасында анықталып, 0,106 құрады.

Жұптық  $F_{ST}$  көрсеткіштері 0,009–0,018 аралығында ауытқыды. Ең төмен  $F_{ST}$  мәні Мұхит пен Дархан популяциялары арасында анықталды ( $F_{ST}=0,009$ ). Дархан мен Ислам популяциялары арасында бұл көрсеткіш 0,014, ал Мұхит пен Ислам популяциялары арасында 0,018 болды.

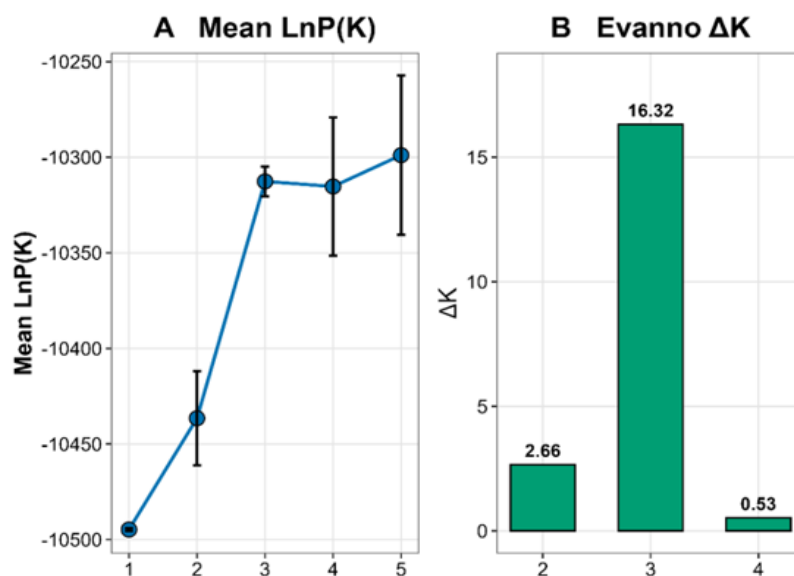
Зерттелген Адай жылқысы популяцияларының генетикалық құрылымын бағалау үшін көпөл-

шемді факторлық талдау (AFC – Factorial Correspondence Analysis) және Bayesian clustering негізіндегі STRUCTURE талдауы жүргізілді.



Сур. 4. Популяциялар арасындағы генетикалық қашықтық (А) және негізгі компоненттер талдауының (Б) нәтижелері  
[Fig. 4. Genetic distance among populations (A) and results of principal component analysis (B)]

AFC кеңістігінде зерттелген даралардың орналасуы үш популяция арасында белгілі бір генетикалық құрылым бар екенін көрсетті (Сурет – 4В). AFC1 жалпы генетикалық өзгергіштіктің 62,78 %-ын, AFC2 37,22 %-ын түсіндірді. Дархан популяциясының даралары негізінен екінші AFC2 бойынша жоғары мәндері аймағында шоғырланып, екі популяциядан салыстырмалы түрде айқынырақ ажырады. Ислам популяциясының даралары көбіне AFC1 бойынша теріс бағытындағы бөлігінде орналасса, Мұхит популяциясы AFC1 бойынша оң мәндер аймағына көбірек ығысқан. Сонымен қатар топтардың таралу аймақтарында ішінара қабаттасу да байқалды.

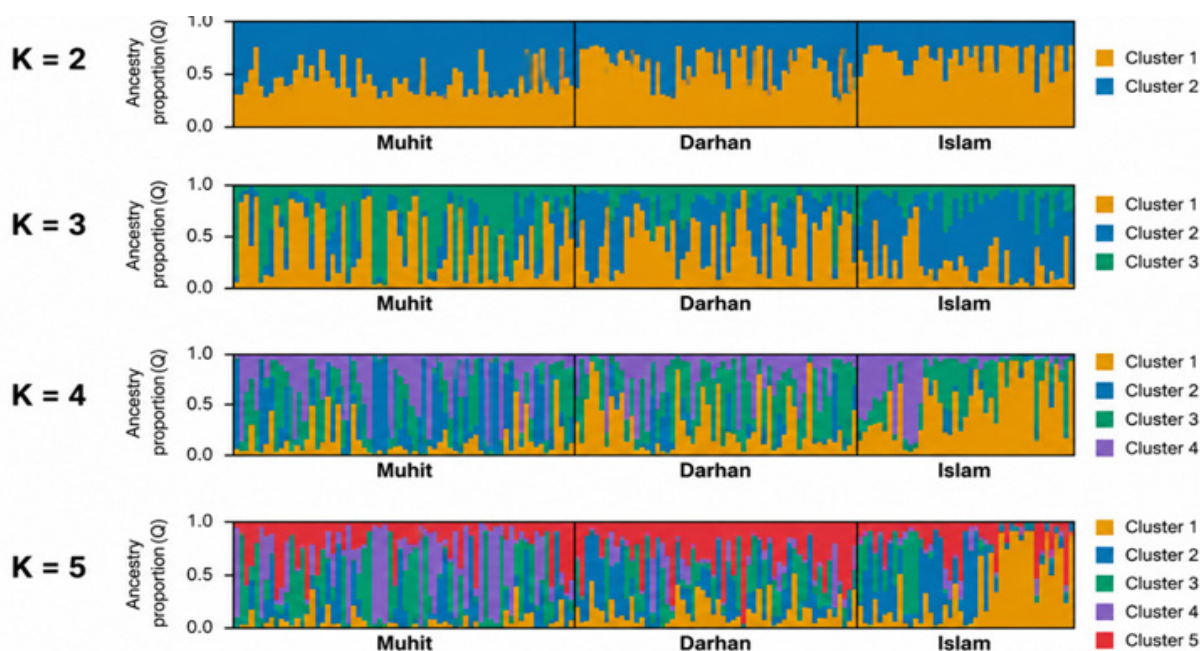


Сур. 5. Зерттелген жылқы популяциялары үшін генетикалық кластерлердің оңтайлы санын (K) анықтау: А – K мәндеріне байланысты орташа LnP(K) көрсеткіштері; В – Evanno әдісі бойынша ΔK мәндері.  
[Fig. 5. Determination of the optimal number of genetic clusters (K) for the studied horse populations: A – mean LnP(K) values across K values; B – ΔK values according to the Evanno method].

STRUCTURE талдауы 1 және 5 K аралығында жүргізілді. Mean LnP(K) көрсеткіші K=1-ден K=3-ке дейін айқын жоғарылап, одан кейін K=4-5 деңгейлерінде салыстырмалы түрде тұрақтанды (Сурет – 5А). Evanno әдісі бойынша ең жоғары ΔK = 16,32 мәні K = 3 кезінде анықталды (Сурет – 5В). Салыстыру үшін ΔK көрсеткіші K=2 кезінде 2,66, ал K=4 кезінде тек 0,53 болды. Осыған байланысты зерттелген популяциялар үшін генетикалық кластерлердің ең ықтимал және оңтайлы саны K = 3 екені анықталды.

K=2–5 аралығындағы STRUCTURE нәтижелері зерттелген популяциялардың генетикалық

құрылымының күрделі және аралас сипатта екенін көрсетті (Сурет – 6).  $K=2$  кезінде екі негізгі генетикалық компоненттің популяциялар бойынша әртүрлі арақатынасы байқалды.  $K$  санының 3-ке дейін ұлғаюымен үшінші генетикалық компонент бөлініп, Мұхит, Дархан және Ислам популяциялары арасындағы құрылымдық айырмашылықтар анығырақ көрінді. Сонымен бірге әр популяцияның ішінде бірнеше генетикалық компоненттің болуы даралардың едәуір бөлігінде аралас тектіліктің (Admixture) бар екенін көрсетті.



Сур. 6. Мұхит, Дархан және Ислам популяцияларының STRUCTURE талдауы негізінде анықталған генетикалық құрылымы ( $K=2-5$ ).

Әрбір тік баған жеке дараны, ал түрлі түстер оның генетикалық кластерлерге тиістілік үлесін (Q) көрсетеді.

[Fig. 6. Genetic structure of the Mukhit, Darkhan, and Islam populations inferred from STRUCTURE analysis ( $K=2-5$ ). Each vertical bar represents an individual, while different colors indicate the proportion of membership (Q) in the genetic clusters].

Evanno критерийі бойынша оңтайлы  $K=3$  моделіне сүйенсек, үш генетикалық кластердің ешқайсысы зерттелген популяциялардың біреуіне ғана абсолютті түрде тән емес екені байқалады. Мұхит, Дархан және Ислам топтарының барлығында үш кластердің компоненттері әртүрлі пропорцияда кездеседі. Дегенмен олардың салыстырмалы үлестері популяциялар арасында өзгереді: Мұхит популяциясында бірінші кластер компоненті салыстырмалы түрде көбірек байқалса, Дархан мен әсіресе Ислам популяциясында екінші компоненттердің үлесі артады. Ал Мұхит популяциясы үшінші кластер арқылы Дархан мен Ислам популяциясынан ажыратылады. Бұл көрініс AFC нәтижелеріндегі популяциялар арасындағы ішінара ажырау және сонымен қатар олардың бір-бірімен қабаттасуымен сәйкес келеді.

### Талқылау.

Зерттеу нәтижелері Адай жылқысының Мұхит, Дархан және Ислам популяцияларында жоғары деңгейдегі микросателлиттік полиморфизмнің сақталғанын көрсетті. Зерттелген 17 STR локусының барлығы үш популяцияда да полиморфты болды, Анықталған нәтижелер Адай жылқыларының популяцияішілік генетикалық әртүрлілігінің салыстырмалы түрде жоғары екенін көрсетеді.

Адай жылқысына жүргізілген алдыңғы STR зерттеуімен салыстырғанда қазіргі нәтижелер осы тұқымның аллельдік қорының жоғары деңгейде сақталғанын көрсетеді [Kargayeva және т.б., 2020] Маңғыстау облысындағы «Таушық» шаруашылығынан алынған 33 Адай жылқысын 17 микросателлиттік локус бойынша зерттеп, барлығы 122 аллель және бір локусқа шаққанда орта есеппен 7,17 аллель анықтаған [Kargayeva және т.б., 2020: 55–61]. Біздің зерттеуде үш шаруашылықтағы іріктемеде орташа аллельдер саны 8,510 болды. Бұл айырмашылық іріктеме көлемінің ұлғаюымен, үш түрлі шаруашылықтың қамтылуымен және әр популяциядағы сирек аллельдердің қосымша анықталуымен байланысты болуы мүмкін.

Адай жылқысындағы анықталған генетикалық әртүрлілік Қазақстанның басқа жергілікті жылқы тұқымдарында алынған нәтижелермен де сәйкес келеді. Seleuova et al. Мұғалжар жылқысының 70

дарасын 16 STR локусы бойынша зерттеп, бір локусқа шаққандағы орташа аллельдер санын 7,882, эффективті аллельдер санын 4,457, байқалған гетерозиготалықты 0,7546 және күтілетін гетерозиготалықты 0,7757 деп көрсеткен [Seleuova және т.б., 2018]. Сонымен қатар ең жоғары полиморфизм ASB17 локусында анықталған. Ал бұл зерттеудегі Адай жылқысы популяцияларында орташа  $N_a$  7,765–8,941, ал  $N_e$  4,838–5,096 аралығында болды, яғни бұл көрсеткіштер Мұғалжар жылқысындағы мәндермен салыстырмалы немесе біршама жоғары. ASB17 локусының жоғары ақпараттылығы екі зерттеуде де байқалуы осы маркердің қазақтың жергілікті жылқы популяцияларындағы генетикалық әртүрлілікті бағалауда жоғары ақпараттық құндылыққа ие екенін көрсетеді.

Осыған ұқсас нәтижелер Blohina және Khrabrova зерттеуінде де алынған. Авторлар 15 жергілікті жылқы тұқымының 2193 дарасын 17 STR локусы бойынша зерттеп, көптеген жергілікті тұқымдарда жоғары генетикалық әртүрлілік пен сирек немесе жеке аллельдердің сақталғанын анықтаған [Blohina және т.б., 2025]. Атап айтқанда, Мұғалжар жылқысында бір локусқа шаққандағы орташа аллельдер саны 9,060, эффективті аллельдер саны 5,051,  $H_o=0,801\pm0,022$ ,  $H_e=0,781\pm0,019$  және  $F_{IS}=-0,025$  болған. Бұл көрсеткіштер әсіресе Мұхит популяциясындағы  $N_a=8,941$ ,  $N_e=5,096$ ,  $H_o=0,805$ ,  $H_e=0,784$  және  $F=-0,026$  мәндеріне өте жақын. Мұндай ұқсастық Қазақстанның жергілікті табынды жылқыларында генетикалық әртүрліліктің салыстырмалы түрде жоғары деңгейде сақталуы ортақ ерекшелік болуы мүмкін екенін көрсетеді.

Қызылорда және Қарағанды өңірлеріндегі жылқы популяциялары 25 STR локусы бойынша зерттеліп, барлық локустардың полиморфты екені, орташа  $H_o=0,780\pm0,016$ ,  $H_e=0,765\pm0,010$  және Шеннон индексі  $1,68\pm0,04$  болғаны анықталған [Досыбаев және т.б., 2023: 80–89]. Қазіргі Адай популяцияларында  $H_o=0,746-0,805$ ,  $H_e=0,772-0,784$  және  $I=1,706-1,775$  аралығында өзгерді. Осылайша, Адай жылқысында байқалған генетикалық өзгергіштік Қазақстандағы басқа жергілікті жылқы популяцияларында анықталған нәтижелерге сәйкес келетіні анықталды.

Зерттелген Адай жылқысы популяцияларында байқалған гетерозиготалықтың орташа мәні Мұхитта  $0,805\pm0,025$ , Исламда  $0,786\pm0,020$  және Дарханда  $0,746\pm0,027$  болды. Күтілетін гетерозиготалық сәйкесінше  $0,784\pm0,019$ ,  $0,772\pm0,019$  және  $0,781\pm0,022$  мәндерін құрады. Мұхит пен Ислам популяцияларында  $H_o$  көрсеткішінің  $H_e$  мәнінен шамалы жоғары болуы гетерозиготалардың әлсіз артықшылығын көрсетсе, керсінше Дархан популяциясында гетерозиготалардың салыстырмалы тапшылығы байқалды. Соған сәйкес орташа фиксация индексі Мұхитта  $-0,026$ , Исламда  $-0,021$ , ал Дарханда  $0,043$  болды.

Жергілікті жылқы тұқымдарының көпшілігінде теріс немесе нөлге жуық  $F_{IS}$  мәндері байқалатыны Blohina және Khrabrova зерттеуінде де көрсетілген [Blohina және т.б., 2025]. Авторлар мұндай жағдайды зерттелген популяцияларда айқын инбридингтің болмауы және генетикалық теңгерімнің салыстырмалы түрде сақталуымен байланыстырады. Сондықтан Мұхит пен Ислам популяцияларындағы теріс  $F$  мәндерін айқын инбридингтің жоқтығын көрсететін белгі ретінде қарастыруға болады. Дархан популяциясындағы әлсіз оң  $F$  мәні гетерозиготалардың белгілі бір тапшылығын көрсеткенімен, оның шамасы жоғары емес және бұл популяцияда күшті инбридинг қалыптасқан деген қорытынды жасауға жеткіліксіз. Дегенмен алдағы селекциялық жұмыстарда аталықтарды қолдануда инбридинг мәселесін ескере отырып жұптастыру жоспарын жүргізу ұсынылады.

Локустар бойынша айырмашылықтардың болуы да назар аударуға тұрарлық. Адай жылқысында LEX3 локусында Дархан популяциясында ең жоғары оң  $F=0,292$  мәні анықталды, ал кейбір басқа локустарда теріс мәндер байқалды. Seleuova et al. зерттеуінде де Мұғалжар жылқысында жекелеген локустар бойынша  $F_{IS}$  мәндерінің бағыты әртүрлі болған және LEX3 локусында гетерозиготалардың айқын тапшылығы байқалған [Seleuova және т.б., 2018]. Бұл жекелеген маркерлердегі гетерозиготалық тапшылығы жалпы популяциялық инбридингтен бөлек қарастырылуы керектігін көрсетеді.

Зерттелген үш популяцияда жалпы 29 дара аллель анықталды: Мұхит популяциясында 14, Дарханда 10 және Исламда 5 аллель. Олар 12 STR локусында кездесті және басым бөлігінің жиілігі  $0,007-0,027$  аралығында болды. Дара аллельдердің болуы әр шаруашылықта жалпы Адай генофонды аясында белгілі бір жергілікті генетикалық варианттардың сақталғанын көрсетеді.

Бұл нәтиже жергілікті жылқы тұқымдарына тән құбылыс ретінде қарастырылуы мүмкін. Blohina және Khrabrova жергілікті жылқы тұқымдарында көптеген сирек және ерекше STR аллельдердің сақталғанын көрсеткен [Blohina және т.б., 2025]. Олардың зерттеуінде Мұғалжар жылқысында CA425E аллелі тек осы тұқымда және өте төмен,  $0,009$  жиілікте анықталған. Сондықтан қазіргі зерттеуде төмен жиілікті дара аллельдердің анықталуы Адай жылқысындағы сирек генетикалық варианттар-

дың жергілікті деңгейде сақталуымен түсіндірілуі мүмкін.

Мұхит популяциясында дара аллельдер санының көбірек болуы оның генетикалық қорының салыстырмалы ерекшелігін көрсетуі мүмкін. Дегенмен бұл нәтижені популяцияның толық оқшаулануы ретінде түсіндіруге болмайды, өйткені басқа көрсеткіштер, әсіресе төмен  $F_{ST}$ , жұптық генетикалық қашықтықтар және STRUCTURE нәтижелері үш популяция арасында айтарлықтай генетикалық ортақтық бар екенін көрсетті. Сондықтан дара аллельдер бұл жағдайда толық генетикалық оқшаулануды емес, ортақ генофонд ішінде сирек жергілікті варианттардың сақталуын сипаттайды. Сонымен қатар дара аллельдер санының көбірек болуы өнімділігі жоғары аталық іздің жиі қолдануменде түсіндіруге болады.

Үш популяция бойынша Райттың F-статистикаларының орташа мәндері  $F_{IS}=0,000\pm 0,014$ ,  $F_{IT}=0,018\pm 0,014$  және  $F_{ST}=0,018\pm 0,003$  болды.  $F_{IS}$  мәні зерттелген іріктеме бойынша гетерозиготалардың жалпы тапшылығы байқалмайтынын көрсетеді. Бұл нәтиже Адай жылқысының үш популяциясында STR маркерлері деңгейінде популяция ішілік инбридинг белгісі жоқ екенін көрсетеді.

$F_{ST}=0,018$  мәні популяциялар арасындағы генетикалық дифференциацияның төмен екенін көрсетеді. Бұл жағдайда генетикалық өзгергіштіктің негізгі бөлігі шаруашылықтар арасындағы айырмашылықтардан гөрі популяциялар ішіндегі даралар деңгейінде сақталған деп түсіндіруге болады. Қазақстан жылқыларына жүргізілген басқа STR зерттеулерінде де төмен немесе салыстырмалы әлсіз популяциялық жіктелу анықталған. Мысалы, Қызылорда және Қарағанды жылқыларында локустар бойынша  $F_{ST}$  мәндерінің  $0,001-0,056$  аралығында болғанын көрсетілген [Досыбаев және т.б., 2023: 80–89]. Қазақстанның жеті жылқы популяциясын 11 STR маркерімен зерттеуде, жергілікті популяциялар арасында генетикалық құрылым болғанымен, олардың айқын толық оқшауланбағанын көрсеткен [Orazymbetova және т.б., 2023]. Бұл қазіргі Адай нәтижелерімен концептуалды түрде сәйкес келеді: шаруашылықтар арасында белгілі бір субқұрылым байқалғанымен, жалпы дифференциация әлсіз.

$F_{IT}$  көрсеткішінің орташа мәні  $0,018$  болуы барлық популяцияларды біртұтас жиынтық ретінде қарастырғанда жалпы гетерозигота тапшылығының өте әлсіз екенін көрсетеді. Сонымен бірге LEX3 және ASB17 сияқты жекелеген локустарда жоғары оң  $F_{IT}$  мәндерінің болуы локус деңгейіндегі ерекшеліктердің бар екенін көрсетеді. Сондықтан жалпы популяциялық көрсеткіштерді жеке локустардағы ауытқулардан ажыратып қарастыру маңызды.

Ген ағынының теориялық орташа көрсеткіші  $Nm=18,876\pm 2,650$  болды. Мұндай жоғары есептік мән популяциялар арасындағы генетикалық оқшауланудың әлсіздігін және ортақ генетикалық қордың сақталғанын көрсетуі мүмкін. Шаруашылықтар арасында жылқы алмасу, өндіруші айғырларды пайдалану немесе тарихи ортақ ата-тектік қор мұндай генетикалық ұқсастықтың ықтимал себептері болуы мүмкін. Дегенмен  $Nm$   $F_{ST}$  мәніне негізделген теориялық модельдік көрсеткіш болғандықтан, оны қазіргі уақыттағы нақты мигранттардың саны ретінде түсіндіруге болмайды. Сондықтан бұл көрсеткіш популяциялар арасындағы генетикалық байланысты жанама сипаттайтын параметр ретінде ғана қарастырылады. Сонымен қатар зерттелген популяциялар бір тұқым екенінде ескеру керек, яғни миграция жүруіне ол үлкен себеп, екінші мәселе шаруашылықтардың эволюциялық тарихы ұзақ еместігі белгілі.

$N_e$  генетикалық дистанциясы және жұптық  $F_{ST}$  нәтижелері үш шаруашылық арасында әлсіз, бірақ бағытталған генетикалық айырмашылықтардың бар екенін көрсетті. Ең жақын жұп Мұхит пен Дархан популяциялары болды:  $N_e$  бойынша дистанциясы  $0,038$  және жұптық  $F_{ST}=0,009$ . Дархан мен Ислам арасында генетикалық дистанция  $0,071$  және  $F_{ST}=0,014$  болса, ең үлкен айырмашылық Мұхит пен Ислам популяциялары арасында анықталды: генетикалық дистанция  $0,106$  және  $F_{ST}=0,018$ . Бұл мәндердің барлығы абсолюттік тұрғыдан жоғары емес, сондықтан үш популяцияны бір-бірінен терең генетикалық ажыраған топтар ретінде қарастыруға негіз жоқ. Дегенмен жұптық қашықтықтардың бір бағытта өзгеруі Мұхит-Дархан жұбының генетикалық тұрғыдан салыстырмалы жақын, ал Мұхит-Ислам жұбының салыстырмалы алысырақ екенін көрсетеді. Мұндай әлсіз ішкі дифференциация шаруашылықтардағы селекциялық тарих, айғырларды таңдау, табындардың қалыптасу ерекшеліктері және сирек аллельдердің әртүрлі таралуы нәтижесінде қалыптасуы мүмкін.

AFC талдауы үш популяция арасында белгілі бір генетикалық құрылым бар екенін көрсетті. Дархан даралары факторлық кеңістікте салыстырмалы ерекшеленсе, Мұхит және Ислам популяциялары да белгілі бағыттар бойынша ығысу көрсетті. Сонымен бірге топтардың таралу аймақтары ішінара қабаттасты. Мұндай көрініс популяциялардың толық оқшауланбағанын, бірақ олардың генетикалық

құрамында әлсіз субқұрылым бар екенін көрсетеді.

STRUCTURE талдауы бұл қорытындыны толықтырды. Evanno критерийі бойынша ең ықтимал генетикалық кластерлер саны  $K=3$  болды, ал  $\Delta K$  максималды мәні 16,32-ге жетті. Дегенмен  $K=3$  моделінде үш кластердің ешқайсысы жеке бір шаруашылыққа абсолютті түрде тән болған жоқ: Мұхит, Дархан және Ислам популяцияларының барлығында бірнеше генетикалық компонент әртүрлі пропорцияларда кездесіп, айқын *Admixture* байқалды. Сондықтан  $K=3$  нәтижесін «үш шаруашылық үш жеке генетикалық популяцияға толық сәйкес келеді» деп түсіндіру дұрыс емес. Керісінше, ол ортақ генетикалық негіздің ішінде үш негізгі компоненттің бар екенін және олардың салыстырмалы жиіліктері шаруашылықтар арасында өзгеретінін көрсетеді. AFC-дегі қабаттасу, төмен FST және STRUCTURE нәтижелері бір-бірін толықтырып, Адай жылқысының зерттелген популяцияларында әлсіз, бірақ анықталатын субқұрылым бар екенін көрсетеді.

Бұл нәтиже Қазақстан жылқыларына жүргізілген кең ауқымды зерттеулермен де үйлеседі. Geringguli және т.б., mtDNA D-loop деректері бойынша қазақ жылқыларында жоғары генетикалық әртүрлілік пен күрделі популяциялық тарихты көрсеткен [Geringguli және т.б., 2016]. Жақында Ualiyeva және т.б., Қазақстанның жергілікті жылқыларын, соның ішінде Адай тұқымын, митохондриялық COI және *cytb* гендері бойынша зерттеп, жоғары гаплотиптік әртүрлілікпен қатар әлсіз тұқымдық құрылым және популяциялар арасындағы тарихи генетикалық байланыстарды анықтаған [Ualiyeva және т.б., 2026]. Бұл mtDNA деректері қазіргі STR нәтижелерін тікелей алмастырмайды, бірақ Адай және басқа қазақ жылқыларында генетикалық әртүрліліктің жоғары әрі популяциялық жіктелудің салыстырмалы әлсіз болуы кеңірек тарихи генетикалық үдерістермен үйлесетінін көрсетеді.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер Адай жылқысының Мұхит, Дархан және Ислам популяцияларында генетикалық әртүрліліктің жоғары деңгейде сақталғанын көрсетеді. Адай жылқысының зерттелген үш популяциясын толық оқшауланған генетикалық топтар емес, ортақ генетикалық негізі бар, бірақ салыстырмалы әлсіз субқұрылыммен және *admixture* сипатымен ерекшеленетін популяциялар жүйесі ретінде сипаттауға болады.

### Қорытынды.

17 STR локусы бойынша Адай жылқысына тиесілі үш популяцияның генетикалық әртүрлілігі талданды. Қолданылған барлық STR локустарының полиморфты болуы, аллельдердің орташа санының  $8,510 \pm 0,298$  және эффективті аллельдер санының  $5,008 \pm 0,209$  болуы Адай жылқысының зерттелген популяцияларында аллельдік әртүрліліктің жоғары екенін сипаттайды. Байқалған және күтілетін гетерозиготалық көрсеткіштерінің салыстырмалы жоғары болуы да зерттелген популяцияларда генетикалық өзгергіштіктің жеткілікті деңгейде сақталғанын көрсетеді.

Жалпы FIS мәні зерттелген іріктемеде айқын гетерозигота тапшылығының байқалмағанын көрсетті. Сонымен қатар  $FST=0,018$  болуы Мұхит, Дархан және Ислам популяциялары арасындағы генетикалық дифференциацияның төмен деңгейде екенін және олардың генетикалық тұрғыдан өзара жақын екенін дәлелдейді. Популяциялар арасындағы жұптық салыстырулар Мұхит пен Дарханның генетикалық тұрғыдан ең жақын, ал Мұхит пен Исламның салыстырмалы түрде ерекшеленетін жұп екенін көрсетті.

Зерттелген үш популяцияда барлығы 29 дара аллельдің анықталуы ортақ генетикалық қор аясында әр шаруашылыққа тән сирек генетикалық варианттардың сақталғанын көрсетеді. Дара аллельдердің ең көп саны Мұхит популяциясында анықталды, бұл популяцияның өзіндік генетикалық қорын сипаттайды және оны сақтау селекциялық жұмыстар барысында генетикалық әртүрліліктің тарылуына жол бермеу тұрғысынан маңызды.

AFC және STRUCTURE талдаулары F-статистикалар мен генетикалық қашықтық нәтижелерін толықтыра отырып, зерттелген популяциялар арасында әлсіз генетикалық субқұрылымның бар екенін анықтады. STRUCTURE талдауында  $K=3$  ең ықтимал модель ретінде анықталғанымен, популяциялардың толық генетикалық оқшауланбағанын және олардың ортақ генетикалық негізінің сақталғанын көрсетеді.

Осылайша, зерттелген Адай жылқылары жоғары генетикалық әртүрлілікпен, төмен популяцияаралық дифференциациямен және *Admixture* сипатындағы әлсіз генетикалық субқұрылыммен ерекшеленді. Алынған нәтижелер Адай жылқысының қазіргі генетикалық жағдайын сипаттайтын молекулалық-генетикалық деректерді толықтырады және тұқымның генетикалық ресурстарын сақтау үшін популяциялардағы генетикалық әртүрлілікті тұрақты бақылаудың маңыздылығын көрсетеді.

Анықталған популяциялық ерекшеліктер мен сирек дара аллельдерді ескеру генетикалық әртүрлілікті сақтауға, өндіруші аталықтарды негізді іріктеуге және Адай жылқысына бағытталған селекциялық бағдарламаларды жетілдіруге ғылыми негіз бола алады.

## REFERENCES

- Barmincev Yu.N. (1958). *Evolutsiya konskikh porod v Kazakhstane*. — Alma-Ata: Kazgosizdat. 281 p. [in Russ.].
- Dossybaev K.Zh., Sydykov D.A., Kapas T., Orazymbetova Z.S., Kozhanov Zh.E., Akhmetysadykova Sh.N., Baktybaev G.T., Akhmetov U.A., Baisaparov A.N., Nurmakhanbetov D.M., Turmukhametov Zh.S. (2023). Kyzylorda zhane Karagandy aymaktarynda osiriletin zhylyky populyatsiyalarynyn genetikalyk polimorfizmin bagalau. *Experimental Biology*. 2023. № 1 (94). Pp. 80–89. <https://doi.org/10.26577/eb.2023.v94.i1.07>; [in Kaz.].
- Kargayeva M.T. (2022). *Biologicheskie i produktivnye osobennosti adaevskikh loshadey v usloviyakh poluostrova Mangyshlak: dissertatsionnoe issledovanie*. 2022. [in Russ.].
- Nurushev M.Zh. (2005). *Adaevskaya loshad: evolyutsiya, sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvedeniya*. — Astana: Astana-Poligrafiya. 383 p. [in Russ.].
- Nurushev M.Zh. (2007). Genofond adaevskikh loshadey Zapadnogo Kazakhstana. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2007. Pp. 127–128. [in Russ.].
- Sydykov D.A., Orazymbetova Z.S. (2017). Molekulyarno-geneticheskie metody v lineynom razvedenii loshadey kozhamberdinskoy porodnoy grupy. *Konevodstvo i konnyy sport*. 2017. № 4. Pp. 24–25. [in Russ.].
- Belkhir K., Borsa P., Chikhi L., Raufaste N., Bonhomme F. (2004). GENETIX 4.05, logiciel sous Windows™ pour la génétique des populations. Montpellier: Laboratoire Génome, Populations, Interactions, CNRS UMR 5171, Université de Montpellier II. 2004.
- Beyshova I., Kikebayev N., Kokanov S., Chuzhebayeva G., Nametov A.M. (2013). Genetic polymorphism of 17 microsatellite DNA loci in main lines of Kostanay breed horses. *Life Science Journal*. 2013. Vol. 10(10s). Pp. 85–91.
- Blohina N.V., Khrabrova L.A. (2025). Genetic characteristics of local horse breeds by microsatellite DNA loci. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii // Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2025. Vol. 29. № 1. Pp. 113–121. <https://doi.org/10.18699/vjgb-25-13>.
- Evanno G., Regnaut S., Goudet J. (2005). Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Molecular Ecology*. 2005. Vol. 14. № 8. Pp. 2611–2620. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2005.02553.x>.
- Falush D., Stephens M., Pritchard J.K. (2003). Inference of population structure using multilocus genotype data: linked loci and correlated allele frequencies. *Genetics*. 2003. Vol. 164. № 4. Pp. 1567–1587. <https://doi.org/10.1093/genetics/164.4.1567>.
- Gemingguli M., Iskhan K.R., Li Y., Qi A., Wunirifu W., Ding L.Y., Wumaierjiang A. (2016). Genetic diversity and population structure of Kazakh horses (*Equus caballus*) inferred from mtDNA sequences. *Genetic and Molecular Research*. 2016. Vol. 15. № 4. <https://doi.org/10.4238/gmr.15048618>.
- Kabyzbekova D., Assanbayev T.Sh., Kassymbekova Sh.N., Kantanen J. (2024). Genetic Studies and Breed Diversity of Kazakh Native Horses: A Comprehensive Review. *Advancements in Life Sciences*. 2024. Vol. 11. № 1.
- Kargayeva M.T., Baimukanov D.A., Nurbaev S.D., Baimukanov A.D., Alikhanov O., Yusupbayev Zh. (2020). Identification of Kazakh Horses by Microsatellite DNA Using Modern Analytical Methods. *Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*. 2020. Vol. 4. № 386. Pp. 55–61. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1467.104>.
- Nei M. (1978). Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics*. 1978. Vol. 89. № 3. Pp. 583–590. <https://doi.org/10.1093/genetics/89.3.583>.
- Orazymbetova Z., Ualiyeva D., Dossybayev K., Torekhanov A., Sydykov D., Mussayeva A., Baktybayev G. (2023). Genetic Diversity of Kazakhstanian *Equus caballus* (Linnaeus, 1758) Horse Breeds Inferred from Microsatellite Markers. *Veterinary Sciences*. 2023. Vol. 10. Art. 598. <https://doi.org/10.3390/vetsci10100598>.
- Pozharskiy A., Abdrakhmanova A., Beishova I., Shamshidin A., Nametov A., Ulyanova T., Bekova G., Kikebayev N., Kovalchuk A., Ulyanov V., Turabayev A., Khusnitdinova M., Zhambakin K., Sapakhova Z., Shamekova M., Gritsenko D. (2023). Genetic structure and genome-wide association study of the traditional Kazakh horses. *Animal*. 2023. Vol. 17. № 9. Art. 100926. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100926>.
- Pritchard J.K., Stephens M., Donnelly P. (2000). Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*. 2000. Vol. 155. № 2. Pp. 945–959. <https://doi.org/10.1093/genetics/155.2.945>.
- Seleuova L.A., Naimanov D.K., Jaworski Z., Aubakirov M.Zh., Mustafin M.K., Mustafin B.M., Safronova O.S., Baktybaev G.T., Turabaev A.T., Domatski V.N. (2018). Population genetic characteristic of horses of Mugalzhar breed by STR-markers. *Biomedical Research*. 2018. Vol. 29. № 18. Pp. 3508–3511.
- Ualiyeva D., Dossybayev K., Kapassuly T., Kozhakhmet A., Kozhanov Z., Kryukov K., Arita M., Torekhanov M., Torekhanov A. (2026). Mitochondrial DNA reveals high maternal diversity within a weak breed structure in native Kazakhstani horses. *Frontiers in Genetics*. 2026. Vol. 17. Art. 1874969. <https://doi.org/10.3389/fgene.2026.1874969>.



**G.M. Zhumagaliyeva, B.K. Sansyzbayeva, R. Kadyken, A.D. Orakbayeva\***

Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail.ru: [ainura\\_manat@mail.ru](mailto:ainura_manat@mail.ru)

## EARLY PRELIMINARY ASSESSMENT OF BREEDING QUALITIES OF SOUTH KAZAKH MERINO SHEEP

**Zhumagaliyeva Gulshad Makhambetovna**, PhD, Senior Lecturer Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan. Address: 43 Daraboz microdistrict, Apt. 71, Alatau district, Almaty, Kazakhstan  
E-mail: [zhumagaliyeva.g@mail.ru](mailto:zhumagaliyeva.g@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8747-6850>;

**Kadyken Rizabek**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Zootechnics and Biotechnology, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan  
E-mail: [duisen8888@mail.ru](mailto:duisen8888@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0002-1515-3002>;

**Orakbaeva Ainur**, PhD, Senior Lecturer, Kazakh National Agrarian Research University, Kazakhstan, Almaty, Nauryzbay Batyr St., 125  
E-mail: [ainura\\_manat@mail.ru](mailto:ainura_manat@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-6938-6613>;

**Sansyzbaeva Bibigul**, PhD, Senior Lecturer, Kazakh National Agrarian Research University, Kazakhstan, Almaty, Akkent microdistrict  
E-mail: [Bibigul19\\_93@mail.ru](mailto:Bibigul19_93@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-2602-8925>.

**Abstract.** The study was conducted at the “Merey” farm in the Almaty region on South Kazakh Merino sheep. The main objective of the research was the early prediction of the breeding qualities of sire rams and the determination of their breeding value based on the productive traits of their offspring. In modern sheep breeding, the selection of highly productive animals with high genetic potential is one of the key directions of breeding work. In this regard, the early evaluation of young rams makes it possible to determine their breeding value in a timely manner and improve the economic efficiency of sheep farming. During the study, the live weight, wool length, fleece weight, growth intensity, and meat productivity of offspring obtained from 7-month-old rams used for early mating with ewes were investigated. The breeding value of the rams was assessed based on the productivity indicators of their offspring at 4.5 and 7 months of age. In addition, slaughter yield, carcass quality, meat-to-bone ratio, wool productivity, and technological properties of wool were determined. The research results showed that the offspring of rams No. 101200, No. 102255, and No. 205060 exceeded the average values in live weight, wool length, fleece weight, and meat productivity, and therefore these rams were classified as improver sires. The offspring of rams No. 103099 and No. 204001 showed lower productivity indicators for several traits and were classified as neutral or deteriorating rams. The evaluation of meat productivity demonstrated that lambs at 7 months of age had high slaughter yield and good carcass quality characteristics. The obtained results indicate that the early evaluation of rams based on the quality of their offspring makes it possible to determine their breeding qualities two years earlier. This method increases the efficiency of breeding work, accelerates the selection of highly productive animals, and reduces the costs of maintaining neutral and deteriorating rams.

**Keywords:** South Kazakh Merino, sire rams, breeding, offspring quality, live weight, wool length, fleece weight, meat productivity, slaughter yield, early evaluation

**For citation:** Zhumagaliyeva G.M., Sansyzbayeva B.K., Kadyken R., Orakbayeva A.D. (2026). Early preliminary assessment of breeding qualities of south kazakh merino sheep // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 37–48. <https://doi.org/10.37884/4-2026/03>[In Kaz.].

**Conflict of interest:** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgement:** *We would like to express our sincere gratitude to the staff of the “Meray” Farm in the Almaty Region for their valuable assistance and support in facilitating the measurement of live body weights of the South Kazakh Merino sheep breed within the framework of our scientific research. Their cooperation and contribution to the successful implementation of this study are highly appreciated.*

**Г.М. Жумагалиева, Б.Қ. Сансызбаева, Р. Қадыкен, А.Д. Орақбаева\***

Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail.ru: ainura\_manat@mail.ru

## ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚ МЕРИНОС ҚОЙ ТҰҚЫМЫНЫҢ АСЫЛ ТҰҚЫМДЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЕРТЕ ЖАСТАН АЛДЫН АЛА БАҒАЛАУ

**Жумагалиева Гулшад Махамбетовна**, PhD, аға оқытушы Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Қазақстан, Алматы, Алатау ауданы, мкр. Дарабоз, 43

E-mail: zhumagalieva.g@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8747-6850>;

**Қадыкен Ризабек**, ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, «Зооинженерия және биотехнология» кафедрасының қауымдастырылған профессоры; Алматы қаласының Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Қазақстан

E-mail: duisen8888@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-1515-3002>;

**Орақбаева Айнұр Дюсембекқызы**, PhD ассистент, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Қазақстан, Алматы қ. Наурызбай батыр, 125

E-mail: ainura\_manat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6938-6613>;

**Сансызбаева Бибігүл Қуатжанқызы**, PhD аға оқытушы, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Қазақстан, Алматы, Ақкент ш.а

E-mail: Bibigul19\_93@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-2602-8925>.

**Аннотация.** Зерттеу жұмысы Алматы облысындағы «Мерей» шаруа қожалығында оңтүстік қазақ меринос қой тұқымында жүргізілді. Зерттеудің негізгі мақсаты – өндіруші қошқарлардың асыл тұқымдық қасиеттерін ерте жастан алдын ала болжау және ұрпағының өнімділік көрсеткіштері негізінде селекциялық құндылығын анықтау. Қазіргі таңда қой шаруашылығында жоғары өнімді, генетикалық әлеуеті мықты малдарды іріктеу селекциялық жұмыстың маңызды бағыттарының бірі болып табылады. Осыған байланысты жас қошқарларды ерте жастан бағалау олардың асыл тұқымдық сапасын тез анықтауға және шаруашылықтағы экономикалық тиімділікті арттыруға мүмкіндік береді. Зерттеу барысында 7 айлық жастағы өндіруші қошқарларды аналықтармен ерте шағылыстыру нәтижесінде алынған төлдердің тірілей салмағы, жүн ұзындығы, жүн қырқу, өсу қарқыны және ет өнімділігі зерттелді. Ұрпақтардың 4,5 және 7 айлық жасындағы көрсеткіштері бойынша қошқарлардың селекциялық құндылығы бағаланды. Сонымен қатар қозылардың сойыс шығымы, ұша сапасы, жұмсақ ет пен сүйек арақатынасы, жүн өнімділігі және жүннің технологиялық қасиеттері анықталды. Зерттеу нәтижелері бойынша №101200, №102255 және №205060 қошқарларының ұрпақтары тірілей салмақ, жүн ұзындығы, жүн қырқымы және ет өнімділігі бойынша орташа көрсеткіштен жоғары нәтиже көрсетіп, жақсартушы қошқарлар ретінде танылды. Ал №103099 және №204001 қошқарларының ұрпақтары кейбір өнімділік белгілері бойынша орташа деңгейден төмен болып, бейтарап немесе нашарлатушы топқа жатқызылды. Қозылардың ет өнімділігін бағалау барысында 7 айлық жастағы төлдердің сойыс шығымы мен ұша сапасының жоғары екендігі анықталды. Алынған нәтижелер өндіруші қошқарларды ұрпағының сапасы бойынша ерте бағалау олардың асыл тұқымдық қасиеттерін екі жыл бұрын анықтауға мүмкіндік беретінін көрсетті. Бұл әдіс селекциялық жұмыстың тиімділігін арттырып, жоғары өнімді малдарды іріктеуді жеделдетуге, сондай-ақ бейтарап және нашарлатушы қошқарларды ұстауға кететін шығындарды азайтуға мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** өндіруші қошқарлар, ұрпағының сапасы, бағалау, тірілей салмағы, жүн ұзындығы, жүнді қырқу, сараптау, ерте жастан болжау

**Дәйексөз үшін:** Жумагалиева Г.М., Сансызбаева Б.Қ., Қадыкен Р., Орақбаева А.Д. (2026). Оңтүстік қазақ меринос қой тұқымының асыл тұқымдық қасиеттерін ерте жастан алдын ала бағалау//

Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 37–48.  
<https://doi.org/10.37884/4-2026/03> [In Kaz.].

**Мүдделер қақтығысы:** авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

**Алғыс:** Алматы облысындағы «Мерей» шаруа қожалығының ұжымына ғылыми-зерттеулер аясында оңтүстік қазақ меринос қой тұқымының тірілей салмақтарын өлшеуге мүмкіндік жасап қол ұшын бергендеріне алғысымызды білдіреміз.

**Г.М. Жумағалиева, Б.Қ. Сансызбаева, Р. Қадыкен, А.Д. Орақбаева\***

Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан.

E-mail.ru: ainura\_manat@mail.ru

## РАННЯЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПЛЕМЕННЫХ КАЧЕСТВ ОВЕЦ ЮЖНО-КАЗАХСКОЙ МЕРИНОСНОЙ ПОРОДЫ

**Жумағалиева Гулшад Махамбетовна**, PhD, старший преподаватель, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Казахстан, Алматы, Алатауский район, мкр. Дарабоз, дом 43, кв. 71

E-mail: zhumagalieva.g@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8747-6850>;

**Қадыкен Ризабек**, кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор кафедры Зооинженерия и биотехнология. Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан

E-mail: duisen8888@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-1515-3002>;

**Орақбаева Айнұр Дюсембекқызы**, PhD, ассистент, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Казахстан, Алматы, ул. Наурызбай батыр, 125

E-mail: ainura\_manat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6938-6613>;

**Сансызбаева Бибігүл Қуатжанқызы**, PhD старший преподаватель, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Казахстан, Алматы, мкр. Аккент

E-mail: Bibigul19\_93@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-2602-8925>.

**Аннотация.** Исследование проведено в крестьянском хозяйстве «Мерей» Алматинской области на овцах южно-казахской мериносной породы. Основной целью работы являлось раннее прогнозирование племенных качеств баранов-производителей и определение их селекционной ценности на основе продуктивных показателей потомства. В современных условиях овцеводства отбор высокопродуктивных животных с высоким генетическим потенциалом является одним из важнейших направлений селекционной работы. В связи с этим ранняя оценка молодых баранов позволяет своевременно определить их племенную ценность и повысить экономическую эффективность хозяйства. В ходе исследований изучались показатели живой массы, длины шерсти, настрига шерсти, интенсивности роста и мясной продуктивности потомства, полученного от использования баранов в возрасте 7 месяцев при ранней случке с матками. Селекционная ценность баранов оценивалась по показателям потомства в возрасте 4,5 и 7 месяцев. Кроме того, были определены убойный выход, качество туш, соотношение мякоти и костей, шерстная продуктивность и технологические свойства шерсти. Результаты исследований показали, что потомство баранов №101200, №102255 и №205060 превосходило средние показатели по живой массе, длине шерсти, настригу шерсти и мясной продуктивности, в связи с чем они были отнесены к категории баранов-улучшателей. Потомство баранов №103099 и №204001 по ряду продуктивных признаков оказалось ниже среднего уровня и было отнесено к нейтральной или ухудшающей группе. Оценка мясной продуктивности ягнят показала, что животные в возрасте 7 месяцев характеризуются высоким убойным выходом и хорошими качественными показателями туши. Полученные результаты свидетельствуют о том, что ранняя оценка баранов по качеству потомства позволяет определить их племенные качества на два года раньше. Данный метод способствует повышению эффективности селекционной работы, ускорению отбора высокопродуктивных животных и снижению затрат на содержание нейтральных и ухудшающих баранов.

**Ключевые слова:** южно-казахский меринос, бараны-производители, селекция, качество потомства, живая масса, длина шерсти, настриг шерсти, мясная продуктивность, убойный выход, ранняя

оценка

**Для цитирования:** Жумагалиева Г.М., Сансызбаева Б.Қ., Қадыкен Р., Орақбаева А.Д. (2026). Ранняя предварительная оценка племенных качеств овец южно-казахской мериносной породы // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 37–48. <https://doi.org/10.37884/4-2026/03> [In Kaz.].

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Кіріспе.

Оңтүстік қазақ меринос қойлары Қазақстанның оңтүстігіндегі қатаң континенттік климат жағдайларына жақсы бейімделген және жоғары өміршеңдігімен, сондай-ақ ет пен жүн өнімділігінің жеткілікті жоғары деңгейімен ерекшеленеді.

Ауыл шаруашылығы экономикасында басқарудың жаңа нысандарын дамыту нарықтық экономиканың негізгі талаптарының бірі болып табылады [Alpamysova және т.б., 2026]. Бұл жерде нарық заңдарына сәйкес еркін кәсіпкерлік нысаны ретінде тиімді жұмыс істей алатын фермерлік, шаруа қожалықтары мен кооперативтік құрылымдардың қалыптасуы туралы сөз болып отыр. Атап өткендей, жеке (шаруа) және кооперативтік шаруашылықтар өзін-өзі реттеу қағидаттары негізінде жұмыс істейді және басқа өндірушілермен бәсекелестікке түседі. Алайда мұның барлығы қой шаруашылығы өнімдерін өндіру технологиялары мен әдістері жан-жақты зерттеліп, ғылыми негізделген дәлелдермен қамтамасыз етілген жағдайда ғана мүмкін болады [Омбаев және т.б., 2025].

Республикада қой шаруашылығын табысты дамытудың перспективалы бағыты – селекция мәселелері, технология, көбею биотехнологиясы және агробиологиялық өндіріс салаларындағы ғылыми зерттеулерге негізделген өндірісті интенсификациялау екенін атап өтті [Орақбаева және т.б., 2023].

Өнімнің жоғары сапасы нарықтық жағдайларда бәсекеге қабілеттілікке қол жеткізудің негізгі жолы екенін көрсетеді. Осыған байланысты қазіргі кезеңде қой шаруашылығын дамытудың басты бағыттары нарық конъюнктурасына сәйкес негізгі өнімдерге – қозы еті, жүн, құйрық майы, қой терісі және қой сүтіне – бағдарлануы тиіс, бұл өз кезегінде өндірістің жекелеген бағыттарына басымдық беруге мүмкіндік береді [Mukanova және т.б., 2024].

Қазақстан Республикасының Президенті Нұрсұлтан Назарбаевтың жылдық Жолдауында «ҚазақАгро»-ның негізгі міндеті – ауыл шаруашылығы өнімділігін арттыру мәселелерін жүйелі түрде шешу, барлық салалар бойынша сапалы талдау жасау және алдымен дамытуды қажет ететін секторларды анықтау болып табылады. Солардың бірі – әлемде қарқынды өсіп келе жатқан, экологиялық таза аймақта табиғи жеммен өндірілген ауыл шаруашылығы экологиялық өнімдері мен шикізат нарығы, бұл жағдай Қазақстан Республикасының аумағына сәйкес келеді [Islamov және т.б., 2021].

Соңғы жылдары өндіруші қошқарларды олардың қозы ұрпақтарының өсуі мен ет сапасы көрсеткіштерін салыстыра отырып бағалады. Бұрынғы әдістер бойынша бағалау олардың селекциялық құндылығын анықтау үшін қажетті уақытты ұзартады, сонымен қатар сынақтан өткізілмеген өндіруші қошқарларды ұстап тұру өнімдердің нарықтағы бағасын арттыруға әкелуі мүмкін [Torekhanov және т.б., 2021].

Қошқарларды дұрыс бағаламау табынның селекциялық құндылығына да теріс әсер етуі мүмкін. Сондықтан өндіруші қошқарлардың селекциялық және өнімдік қасиеттерін ерте бағалау әдістерін қолдану арқылы алдын ала бағалау жүргізу – практикалық маңызы зор өзекті мәселе болып отыр [Iskakov және т.б., 2017].

Зерттеудің ғылыми жаңалығы – Оңтүстік қазақ меринос қойларының жергілікті табиғи-климаттық жағдайларға бейімделу ерекшеліктерін ескере отырып, өндіруші қошқарлардың селекциялық құндылығын олардың ұрпақтарының өсу қарқыны, ет өнімділігі және ет сапасының негізгі көрсеткіштері негізінде ерте бағалаудың ғылыми-әдістемелік тәсілдерін жетілдірумен айқындалады. Зерттеу барысында өндіруші қошқарлардың тұқымдық және өнімділік қасиеттері мен олардың ұрпақтарының шаруашылыққа пайдалы белгілері арасындағы байланыстарды анықтау арқылы селекциялық іріктеудің тиімділігін арттыруға бағытталған ғылыми негіздер ұсынылады [Islamov және т.б., 2018.] Сонымен қатар, алынған нәтижелер Оңтүстік қазақ меринос қойларының ет-жүн бағытындағы өнімділігін арттыруға, жоғары генетикалық әлеуеті бар өндіруші қошқарларды ерте кезеңде анықтауға және отардың селекциялық сапасын жақсартуға мүмкіндік беретін практикалық ұсыныстарды әзірлеуге негіз болады.

**Жұмыстың мақсаты** – өндіруші қошқарларды олардың ұрпақтарының сапасына қарап сынау,

себебі ұрпақ сапасы олардың селекциялық қасиеттерін бағалаудың негізгі критерийі болып табылады.

### Әдістемелер мен материалдар.

Осы зерттеу үшін Алматы облысы, Кербұлақ ауданы, Мерей шаруа қожалығы Оңтүстік қазақ меринос қойлары пайдаланылды. Зерттеу кезеңі – 2022–2025 жылдар.

Бастапқы қошқарлар мен аналықтардың өнімдік сапасы ретінде келесі көрсеткіштер зерттелді тірі салмақ, жүн түсімі, жүн ұзындығы, сойыс салмағы мен сойыс шығымы, сондай-ақ ерте жаста (7 ай) қошқарлардан алынған ұрпақтың классикалық құрамын бағалау. Тірілей салмағы қой тұқымдарын өсіру негіздерімен жіктеу жөніндегі нұсқаулыққа сәйкес, ал тәжірибелік жас малдардың салыстырмалы тірілей салмағы жасына қарай тұрақты орнатылған таразыда 5 кг дәлдікпен өлшеніп, анықталды. Мал күйі союға дейін аштық мерзімінен кейін және сойғаннан кейін МЕМСТ стандарттар талабына сәйкес анықталды. Құйрықсыз суытылған ұшаны сүйектен тажыратудың қорытындысы бойынша, морфологиялық құрамы мен еттілік коэффициенті анықталды. Алынған нәтижелер мен зоотехникалық деректерді стабелгіленген тистикалық өңдеу Н.А. Плохинскийдің стандартты әдістемесі бойынша және Microsoft Excel 2010 бағдарламасына сәйкес жүргізілді. Орташа арифметикалық көрсеткіш пен оның кателігі ( $X \pm x_m$ ) – жалпыланған статистикалық параметр немесе түрленген белгілердің орташа деңгейінің статистикалық сипаттамасы болып саналады. Әр аттас белгілердің өзгергіштігін салыстыру үшін және әртүрлі жиынтықтың бір аттас белгілерінің өзгергіштік деңгейін білу үшін өзгергіштік коэффициентін ( $C_v$ , %) пайдаланылды. Сапалық белгілердің өзгергіштік шамасын стандарттық ауытқу ( $\sigma$ ) көмегі формуласы бойынша анықталды.

### Нәтижелер және талқылау.

Биязы жүнді қойлар арасында кейбір тұқымдардың дене салмағы аз болады – мысалы, Грозный тұқымына жататын аналықтардың орташа дене салмағы небәрі 49–54 кг құрайды. Алайда, көптеген тұқымдар (Кавказ, Асканиян, Алтай және т.б.) үлкен салмақпен сипатталады; аналықтардың орташа салмағы 61–65 кг-ға жетеді. Сонымен бірге, әр тұқым мен әр табында жануарлардың өлшемі мен тірі салмағы бойынша айтарлықтай өзгергіштік байқалады. Кейбір авторлардың мәліметтері бойынша қойлардың тірі салмағының мұрагерлік коэффициенті 36–54 % аралығында өзгереді. Бұл бағытта сәтті селекция жүргізу мүмкіндігінің бар екенін көрсетеді.

Тірі салмақтың артуы оның жетілу мерзімі мен дене салмағының өсуімен қатар жүруі өте маңызды, себебі бұл жануардың максималды тірі салмағына ерте жаста жетуіне мүмкіндік береді. Тіпті жүн өнімділігі басты мәнге ие тұқымдар үшін де ерте жетілу артықшылық береді, себебі бұл етті жас жануарда сату мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Тірі салмақтың мұрагерлік көрсеткіштері тұқым ерекшеліктеріне және жануарлардың жасына байланысты едәуір өзгереді. Әрине, қоршаған орта жағдайлары, әсіресе қоректендіру деңгейі, жұқа жүнді қой табындарындағы осы қасиеттің генотиптік әртүрлілігінің көрінуіне айтарлықтай әсер етеді [Жумагалиева және т.б., 2014].

Қошқарлармен 7 айлық жастағы қосылған аналықтардан алынған қозылардың тірі салмағы талаптарға сәйкес келеді. 2022–2025 жылдары Алматы облысы, Қазығұрт ауданы, «Шарбулақ» өндірістік кооперативінде 800 қозыны талдау негізінде жас қошқарлар топтары бойынша тірі салмақ айырмашылығы тиісінше 0,7–2,2 % кем және 1,4–2,0 % артық деп бағаланды; артықшылығы  $P > 0,95$  деңгейінде сенімді, яғни алғашқы сенімділік шегінен жоғары.

Тірі салмақтың өсуі – өсуінің жеке көрсеткіші болып табылады. Біздің зерттеулер көрсеткендей, туғаннан 4,5 айға дейінгі кезеңде аналықтардың абсолюттік өсуі 26,14 кг, салыстырмалы өсуі 825,2 % болса, қошқарлар үшін бұл көрсеткіштер тиісінше 26,54 кг және 764,8 % болды. Бұл мәліметтер жас қошқарларда абсолюттік өсу ең жоғары болғанымен, салыстырмалы өсу 61,4 % кем екенін көрсетеді. Сонымен қатар, жас аналықтардың топтық орташа тәуліктік қосындысы 280,8 г болса, жас қошқарлар тобында 204,5 г болды.

Жыныс бойынша тірі салмақ айырмашылығы зерттеулерімен расталады. Қошқарлардың аналықтарға қарағанда үлкен болуы және туғаннан 5–6 айға дейінгі кезеңдегі айырмашылық олардың пайдасына елеулі әсер етеді [Zhmagaliyeva және т.б., 2015].

1-кестеде 4,5 айлық жастағы төлдердің тірі салмағы бойынша мәліметтер келтірілген. Зерттеу нәтижелері бойынша №101200, №102255 және №205060 қошқарларынан алынған ұрпақтардың тірі салмағы топтың орташа көрсеткішінен 1,7–3,9 %-ға жоғары болды. Ал №103099 және №204001 қошқарларынан алынған төлдердің тірі салмағы орташа мәннен 2,4–4,5 %-ға төмен екені анықталды. Егер жүргізілген статистикалық өңдеу нәтижесінде  $p < 0,05$  болса, бұл айырмашылықтар статистика-

лық тұрғыдан маңызды деп есептеледі.

Кесте 1. 4,5 айлық кезінде ұрпақтарының сапасына тексерілген қошқарлардан алынған төлдердің тірі салмағы

| № | Қошқарлардың жеке нөмері | Тірілей салмағы, кг |                     |
|---|--------------------------|---------------------|---------------------|
|   |                          | 4,5 айлық жасында   |                     |
|   |                          | Жас қойлар, n=150   | Жас қошқарлар n=150 |
| 1 | 101200                   | 31,38±0,63          | 32,79±0,47          |
| 2 | 102255                   | 30,83±0,66          | 32,23±0,53          |
| 3 | 103099                   | 30,14±0,63          | 31,43±0,57          |
| 4 | 204001                   | 29,43±0,48          | 29,54±0,57          |
| 5 | 205060                   | 31,89±0,64          | 33,23±0,51          |
|   | Орташа алғанда           | 30,81±0,27          | 31,75±0,21          |

Жас қошқарлар арасында да ұқсас үрдіс байқалды: №101200, №102255 және №205060 қошқарларының ұрпақтары орташа көрсеткіштен 1,5–4,1 %-ға жоғары, ал №103099 және №204001 қошқарларының ұрпақтары 1,0–7,5 %-ға төмен болды. Бұл нәтижелер аталған қошқарлардың ұрпағына қарай өнімділік қасиеттерінің әртүрлі деңгейде тұқым қуалайтынын көрсетеді. №101200, №102255 және №205060 қошқарлары жақсартушы (improver), ал №103099 және №204001 қошқарлары нашарлатушы (degrader) ретінде бағаланды.

Туғаннан 7 айлық жасқа дейін аналық төлдердің абсолюттік салмақ қосуы 32,89 кг, орташа тәуліктік салмақ қосуы 156,7 г, салыстырмалы өсуі 992,3 % болды. Жас қошқарларда бұл көрсеткіштер тиісінше 33,88 кг, 161,4 г және 925,3 %-ды құрады. Абсолюттік және орташа тәуліктік салмақ қосу көрсеткіштері бойынша жас қошқарлардың өсу қарқыны аналықтарға қарағанда жоғары болды.

Сүттен айырғаннан кейінгі 7 айлық жасқа дейінгі кезеңде аналық төлдердің абсолюттік салмақ қосуы 5,77 кг, орташа тәуліктік салмақ қосуы 82,4 г және салыстырмалы өсуі 118,8 % болса, жас қошқарларда бұл көрсеткіштер тиісінше 6,15 кг, 87,9 г және 119,2 %-ды құрады. Бұл кезеңде жас қошқарлардың өсу қарқыны аналықтарға қарағанда біршама жоғары болғаны байқалды. Егер айырмашылықтар бойынша статистикалық өңдеу нәтижесінде  $p < 0,05$  анықталса, олар статистикалық тұрғыдан маңызды деп есептеледі.

Кесте 2. 7 айлық кезінде ұрпақтарының сапасына тексерілген қошқарлардан алынған төлдердің тірі салмағы

| № | Қошқарлардың жеке нөмері | Тірілей салмағы, кг |                     |
|---|--------------------------|---------------------|---------------------|
|   |                          | 7 айлық жасында     |                     |
|   |                          | Жас қойлар, n=137   | Жас қошқарлар n=137 |
| 1 | 101200                   | 38,04±0,76          | 38,84±0,53          |
| 2 | 102255                   | 37,48±0,85          | 38,28±0,51          |
| 3 | 103099                   | 36,34±0,87          | 36,92±0,53          |
| 4 | 204001                   | 35,68±0,71          | 37,51±0,65          |
| 5 | 205060                   | 37,93±0,72          | 38,42±0,42          |
|   | Орташа алғанда           | 36,56±0,25          | 37,98±0,25          |

Кесте 2 ерте жаста сынақтан өткен қошқарлардан алынған қозылардың тірі салмағын көрсетеді. Бұл мәліметтер бойынша қошқар №101200, 205060 және 102255 жақсартушы (improver) болып саналады, олардың көрсеткіштері орташа мәннен 2,4–4,1 % жоғары болды, айырмашылықтың сенімділігі  $P > 0,95$  деңгейінде, яғни алғашқы сенімділік шегінен жоғары. Ал қошқар №103099 және 204001 ұрпақтары орташа мәннен 0,7–2,8 % төмен болды.

Бұл дегеніміз, қошқарларды аналықтармен ерте қосу олардың селекциялық қасиеттерін алдын ала болжауға мүмкіндік береді және қай қошқарлардың жақсартушы, бейтарап немесе нашарлатушы екенін анықтауға болады. Біздің зерттеу нәтижелері бойынша тірі салмақ көрсеткіші бойынша қошқар №101200, 205060 және 102255 жақсартушы, қошқар №103099 бейтарап, ал қошқар №204001 нашарлатушы болып шықты.

Жүн ұзындығы. Жүннің негізгі техникалық сипаттамаларына мыналар жатады: ұзындығы, жіңішкелігі, біркелкілігі, иілуі, беріктігі, созылғыштығы, серпімділігі, икемділігі, түсі және жылтырлығы. Олардың көбісі жүн сапасын анықтаудың негізін құрап, жануарларды іріктеу және ассортименттеу кезінде маңызды көрсеткіш болып қызмет етеді.

Басқа көрсеткіштермен қатар, жүн ұзындығы өндірісте қолдану кезінде оның құны мен тағайындалуын анықтайды. Ұзын талшықтарды иіргенде талшықтардың бірнеше рет қиылысуынан күшті қысым пайда болып, талшықтардың бір-біріне жақсы жабысып, жіп тығыз болады. Ұзын талшықтар ең нәзік жіп алу мүмкіндігін береді [Медеубеков және т.б., 2000].

Өлшеу әдістеріне байланысты жүннің табиғи ұзындығы мен нақты ұзындығы ажыратылады. Табиғи ұзындық деп талшықтардың шоқ немесе бөренелердегі, өздерінің табиғи иілуімен (тортуоздылығымен) өлшенген ұзындығын айтамыз. Қойларды бағалау немесе жүнді жіктеу кезінде шоқ пен бөренелердің тереңдігі мен ұзындығы 0,5 см дәлдікпен төменнен жоғарыға өлшенеді.

Жүннің нақты ұзындығы – талшықтарды созбай, тек түзеген кездегі ұзындығы. Оны анықтау үшін әртүрлі жерлерден алынған үлгідегі жүн алынып, әр талшықты созбай, бұралусыз түзеп, 1 мм дәлдікпен өлшейді. Зоотехникалық жұмыстарда тек табиғи ұзындық қолданылады, ал өнеркәсіпте табиғи және нақты ұзындық екеуі де есепке алынады [Lachari және т.б., 2013].

Кесте 3. 4,5 айлық кезінде ұрпақтарының сапасымен тексерілген қошқарлардан алынған жүннің ұзындығы.

| № | Қошқарлардың нөмері | Тірілей салмағы, кг |                   |
|---|---------------------|---------------------|-------------------|
|   |                     | Анасынан айырғанда  |                   |
|   |                     | Жас қойлар, n=150   | Жас қойлар, n=150 |
| 1 | 101200              | 3,03 ± 0,14         | 3,48 ± 0,07       |
| 2 | 102255              | 3,44 ± 0,12         | 3,64 ± 0,14       |
| 3 | 103099              | 2,46 ± 0,17         | 2,84 ± 0,03       |
| 4 | 204001              | 2,78 ± 0,14         | 3,37 ± 0,02       |
| 5 | 205060              | 3,74 ± 0,13         | 3,75 ± 0,12       |

3-кестеде аналықтардың сауыттан айрылған кездегі жүн ұзындығын көрсетеді, оның орташа мәні 2,88 см құрайды. Қошқарлар №101200, 102255, 205060 ұрпақтары бұл көрсеткіштен 4,8–28,4 % жоғары болып,  $P > 0,95$  және  $P > 0,99$  деңгейінде сенімді екенін көрсетеді. Ал қошқарлар №103099, 204001 ұрпақтары орташа мәннен 4,1–17,4 % төмен болды.

Қошқарлар тобы бойынша жүннің орташа ұзындығы 3,37 см болды; қошқарлар №101200, 102255, 205060 ұрпақтарындағы артықшылық 3,1–11,3 % аралығында,  $P > 0,95$  және  $P > 0,99$  деңгейінде сенімді. Қошқар №103099 ұрпақтары орташа мәннен 18,7 % төмен болса, қошқар №204001 ұрпақтары орташа мәнге тең болды.

Бұл мәліметтер қошқар №101200, 102255, 205060 жақсартушы, қошқар №103099 нашарлатушы, ал қошқар №204001 бейтарап екенін көрсетеді.

Кесте 4. 7 айлық кезінде ұрпақтарының сапасымен тексерілген қошқарлардан алынған жүннің ұзындығы.

| № | Қошқарлардың нөмері | Жүннің ұзындығы, см |                      |
|---|---------------------|---------------------|----------------------|
|   |                     | 7 айлық             |                      |
|   |                     | Жас қойлар, n=125   | Жас қошқарлар, n=125 |
| 1 | 101200              | 5,58±0,14           | 6,03±0,05            |
| 2 | 102255              | 5,32±0,12           | 5,42±0,06            |
| 3 | 103099              | 4,08±0,13           | 4,54±0,12            |
| 4 | 204001              | 4,70±0,11           | 5,38±0,04            |
| 5 | 205060              | 5,38±0,11           | 6,16±0,12            |
|   | Орташа алғанда      | 5,02±0,07           | 5,32±0,04            |

4-кестеде 7 айлық аналықтар тобында жүн ұзындығының орташа мәні 5,01 см екенін көрсетеді. Қошқарлар №101200, 102255, 205060 ұрпақтары осы көрсеткіштен 5,9–11,6 % жоғары болып,  $P > 0,95$

және  $P > 0,99$  деңгейінде сенімді. Ал қошқарлар №103099, 204001 ұрпақтары 6,4–22,6 % төмен болды.

Жүн ұзындығын жас қошқарлар тобында өлшеу де сол бағытты көрсетті: қошқарлар №101200, 102255, 205060 ұрпақтарындағы артықшылық 2,4–13,7 % аралығында,  $P > 0,95$  және  $P > 0,99$  деңгейінде сенімді. Қошқар №103099 ұрпақтары орташа мәннен 17,3 % төмен болса, қошқар №204001 ұрпақтары орташа мәннен 1,3 % жоғары болды.

Көрсетілген қасиет бойынша екі топта да (аналықтар мен жас қошқарлар) қошқарлар №101200, 102255, 205060 жақсартушы (improver), қошқар №103099 нашарлатушы (depriver), ал қошқар №204001 бейтарап (neutral) болып саналады.

Жүн ұзындығы – жүн жинау кезінде негізгі параметрлердің бірі. Аналықтар тобы үшін жүн ұзындығының абсолюттік өсуі орташа 2,14 см болып, салыстырмалы өсу 218,7 % құрады, ал жас қошқарлар тобында абсолюттік өсу 1,92 см, салыстырмалы өсу 274,7 % болды. Бұл жас қошқарлар арасында қарқынды өсу 57 % жоғары екенін көрсетеді.

Жүн қырку. Зерттеулер көрсеткендей, жүн жинау жұқа жүнді қойлардың негізгі өнімділігін сипаттайды. Жүн жинау екі көрсеткішпен сипатталады: физикалық (шашылған жүн) және жуғаннан кейінгі жүн. Жуғаннан кейінгі жүн ең құнды болып есептеледі және қойларды іріктеу кезінде үлкен маңызға ие [Бегімқұл, 2012].

Қойдан алынған жүн құрамында жүн талшықтары, майлар, шаң және басқа да бөгде қоспалар болады. Мұндай жүннің салмағы бастапқы салмақ деп аталады, ал қырқылған жүн – жүн қырку деп аталады. Жүн жинаудың мөлшері жүннің ұзындығына, тығыздығына, жұқалығына, жасына, жынысына және қырку уақытына байланысты өзгереді. Қойлардың өнімділігін анықтау үшін таза (жуған) жүннің салмағы өлшенуі қажет. Жуғаннан кейін алынған жүннің салмағы бастапқы жүннің салмағының пайызы ретінде есептеліп, таза жүн шығымы деп аталады [Бегімбеков және т.б., 2015].

Кесте 5. 7 айлық кезінде ұрпақтарының сапасына тексерілген қошқарлардың жүнін қырку.

| №              | Қошқарлардың нөмерлері | Жүн қырку, кг           |                  |
|----------------|------------------------|-------------------------|------------------|
|                |                        | 7 айлық қозылардың жүні |                  |
|                |                        | Жас қой, n=14           | Жас қошқар, n=14 |
| 1              | 101200                 | 2,51±0,12               | 2,53±0,11        |
| 2              | 102255                 | 2,53±0,11               | 2,61±0,13        |
| 3              | 103099                 | 2,32±0,06               | 2,35±0,09        |
| 4              | 204001                 | 2,24±0,07               | 2,27±0,05        |
| 5              | 205060                 | 2,62±0,07               | 2,73±0,04        |
| Орташа алғанда |                        | 2,43±0,03               | 2,51±0,02        |

Жіңішке жүнді қойлардың жүн жинау көрсеткіштері – өнімділікті бағалаудың негізгі көрсеткіштерінің бірі болып табылады. 5-кестедегі деректерге сәйкес, 7 айлық жастағы қошқарлардың және қозылардың топтарында:

№101200, №102255, №205060 қошқарлардың ұрпақтары орташа көрсеткіштен 2,4–9,6 % артық жүн беріп, статистикалық маңыздылыққа сәйкес  $P > 0,95$  және  $P > 0,99$  деңгейінде болды.

Ал, №103099 және №204001 қошқарлардың ұрпақтары орташа көрсеткіштен 5,7–9,8 % төмен болды.

Бұл көрсетеді, яғни №101200, №102255, №205060 қошқарлары жүн өндіру қабілетін арттыратын жақсартушы қошқарлар болып табылады, ал №103099 және №204001 қошқарлары көрсеткішті төмендететін нашарлатушы қошқарлар саналады.

Тәжірибедегі қозылардың ет өнімділігі сойылымға дейінгі тірілей салмағын, малдың қондылық дәрежесін және ұшасын, сойыс салмағы және сойыс шығымын, сорттарын және ұшаның морфологиялық құрамын жасына қарай енесінен сүттен ажыратқанда және жазғы жайылымнан кейін жеті айлығындағы жұмсақ етінің химиялық құрамының көрсеткіштерін анықтау арқылы бағаланды.

Жоғарыдағы кестедегі көрсеткіштерді талдасақ, сояр алдындағы тірідей салмағы егіз қозылардың төртжарым және жеті айлығындағы жаста жалқы қозыға қарағанда 3,3 және 3,1 кг, немесе 10,6 және 6,8 %, жеңіл болды ( $P < 0,999$ ). Егіз қозылардың ұшасының салмағы 4,5 және 7 айлығында жалқы қозыларға қарағанда соған сәйкес 2,3 және 1,7 кг немесе 13,2 және 8,1 % төмен болды ( $P < 0,99$  және

$P < 0,95$ ). Егіз қозыда жалқыға қарағанда 4,5-айлық жасындағы сойыс шығымы төмен, ал 7 айлығында оларда онша айырмашылық болмады. Малдың ет өнімділік көрсеткіштері 4,5-айлық жасында ұшасының тауарлық түрі жеткілікті дәрежеде жақсы, бірақ майының толығыуы шамалы болды.

Кесте 6. Қозыларды бақылау сою қорытындысы.

| Көрсеткіш                      | Өлшем бірлігі | 4,5-айлық<br>(n=3) | 7-айлық<br>(n=3) |           |           |
|--------------------------------|---------------|--------------------|------------------|-----------|-----------|
|                                |               | жалқы              | егіз             | жалқы     | егіз      |
| Сояр алдындағы тірілей салмағы | кг            | 34,3±0,36          | 31,0±0,05        | 48,8±0,36 | 45,70,13  |
| Ұшаның салмағы                 | кг            | 14,6±0,33          | 12,3±0,05        | 22,6±0,40 | 20,9±0,40 |
| Іш майы                        | кг            | 0,50±0,08          | 0,46±0,07        | 0,64±0,05 | 0,60±0,05 |
| Құйрық май салмағы             | кг            | 2,8±0,20           | 2,4±0,08         | 3,2±0,14  | 3,0±0,21  |
| Сойыс шығымы                   | %             | 44,0±0,43          | 42,4±0,30        | 47,6±0,57 | 47,0±0,57 |

Осы жаста тоқты қошқардың ұшасының күй дәрежесі 7596–81 МемСТ-қа байланысты орташа дәрежеге жатқызылды. Тоқты қошқарлардың 8-айлық жасында ұшасының бұлшық еті жақсы дамыды, майы шамалы толды және күйі жағынан орташа жоғары дәрежеге жатқызылды. Ұшадағы еттің әр түрлі сорттарының шығымы ғылыми және тәжірибелілігі жағынан белгілі бір қызығушылық туғызады. Еттің өнімділігін зерттеуде малдардың ұшасының жеуге жарайтын бөлшек еттерінің, сүйек салмағының және тарамыс сіңірлеріне қатынасын білу аса маңызды. Бұл қатынастар олардың белгілі өнімділік бағытына, жекешелеген ерекшеліктеріне малдың жасына және тұқымына, туылғандағы типтік түріне ж.б. ықпалдарға байланысты екені белгілі. Тәжірибедегі қозылардың ұшасының шабылу қорытындысы және олардың жұмсақ етімен сүйегінің (еттілік коэффициенті) қатынастары 3 кестеде келтірілген. Қозылардың ұшасын бөлшектеп шауып, ұлпаларды ажыратқанда жұмсақ ет шығымының, сіңірінің, сүйегінің және олардың қатынастарында айта қоярлықтай айырмашылық байқалған жоқ. Еттің химиялық құрамының көрсеткіштерін талдағанымызда, екі топтағы қозылардың 4,5-айлық жасында көбірек су және белок болғаны, ал 7-айлық жасында олардың төмендейтіні анықталды.

Кесте 7. Қозының ұшасының шабылғандағы қорытындысы (5111–55 МемСТ).

| Көрсеткіш            | Ө. бірлігі | 4,5-айлығында | 7-айлығында |            |            |
|----------------------|------------|---------------|-------------|------------|------------|
|                      |            | жалқы         | егіз        | жалқы      | егіз       |
| Ұшаның салмағы       | кг         | 14,57±0,33    | 12,9±0,05   | 22,62±0,40 | 20,9±0,40  |
| Жұмсақ ет салмағы    | кг         | 10,84±0,14    | 9,56±0,06   | 16,95±0,22 | 15,9±0,15  |
| Жұмсақ ет пайызы     | %          | 74,4±0,05     | 74,14±0,56  | 74,95±0,54 | 73,49±0,35 |
| Сүйек салмағы        | кг         | 3,73±0,15     | 3,31±0,11   | 5,67±0,23  | 5,40±0,12  |
| Тарамыс сіңірлер     | %          | 25,6±0,09     | 25,86±0,08  | 25,05±0,54 | 26,51±0,56 |
| Еттілік коэффициенті | бірлік     | 2,91          | 2,89        | 2,99       | 2,94       |

Құрғақ зат көрсеткіші керісінше, жасына қарай көбейіп, етінің қаттылығын жоғарылады, ал 4,5-айлық қозының етінде көбірек су болғандықтан және жұмсақ етінің жіңішке талшық және жұмсақ бөлігіне қатынасы оны жұғымды етеді. Сол себептен бақылауға сойылған жалқы және егіз тоқты қошқарлар жасына қарай 4,5 және 7 айлығында, яғни сойыс шығымы, 1-ші және 2-ші сортты ет шығымы, жұмсақ етінде және химиялық құрамында маңызды айырмашылықтар анықталынды. Егіз қозылы аналық саулықтардан туған қозыларда ет көрсеткіштері жоғары болды, сол себептен бір ана саулықтарға есептегенде екі есе көп ет алынды, яғни экономикалық жағынан тиімді болып есептелді.

Малды мүшелеп сойып реттеу қазақ халқының ежелден баламасы жоқ дәстүр болып қалыптасқанымен стандарт жоқ. Мүшелеп сойылған қой малының әр мүшесінің салмағынан қанша пайыз шығатынын келтірдік. Сойылған қойлардың ұшасы қанағаттанарлықтай жағдайда болды (4-кесте). Бұлшық еттері жетілген, мойын, кеуде және белдеме омыртқаларының сабақтары бұлшық еттің астында жасырылған, құйымшақтың, жамбастың сыртқы беті май пердесімен тұтас жабылған, төстегі майының қалыңдығы 1–1,5 см жетеді.

Қой ұшасының мүшелік маңызы зор. Әлі, сол кеңес заманынан бері келе жатқан балтамен шабу нұсқауларынан шыға алмай жүрміз 5111–55 МемСТ және 1935–55 МемСТ орнына өзіміздің отандық стандарт шығаруға болады. Ұшадағы мүшелерді маңызына және оның ет шығымына байланысты үш

сортқа бөлуге болады. Мысалы: бірінші сортқа екі жамбас (11,78 %), екі ортан жілік (8,52 %), екі асықты жілікті (10,48 %), белдемені (6,71 %), екі сүбені (13,36 %), екі жауырынды (7,53 %) және құйрықты (12,33 %) жатқызсақ, яғни 70,98%-ға теңеледі. Сондай ақ екінші сортқа омыртқаны (5,83 %), төсті (5,20 %), екі тоқпан жілікті яғни ұшаның 15,71 %-на жатады. Ал үшінші сорттың үлесіне мойын (6,78 %), екі кәрі жілік (4,70 %) және құйымшақ (1,83 %), яғни 13,31 % тиеді.

Кесте 8. Қой ұшасының мүше шығымы 7-айлығында.

| Мүшелер            | Оң жағы   | Сол жағы | Тұтас     |       |      |            |       |
|--------------------|-----------|----------|-----------|-------|------|------------|-------|
|                    | кг        | %        | кг        | %     | саны | кг         | %     |
| Қол, оның ішінде   | 2,13±0,05 | 8,43     | 2,14±0,07 | 8,48  | 2    | 4,27±0,09  | 16,91 |
| «кәрі жілік»       | 0,58±0,07 | 2,31     | 0,60±0,03 | 2,39  | 2    | 1,18±0,05  | 4,70  |
| «тоқпан жілік»     | 0,59±0,02 | 2,32     | 0,50±0,04 | 2,36  | 2    | 1,19±0,03  | 4,68  |
| «жауырын»          | 0,96±0,02 | 3,80     | 0,94±0,03 | 3,73  | 2    | 1,90±0,03  | 7,53  |
| Төс                | -         | -        | -         | -     | 1    | 1,31±0,05  | 5,20  |
| Сүбе               | 1,75±0,06 | 6,93     | 1,69±0,06 | 6,70  | 2    | 3,45±0,06  | 13,63 |
| Мойын              | -         | -        | -         | -     | 1    | 1,71±0,07  | 6,78  |
| Омыртқа            | -         | -        | -         | -     | 1    | 1,47±0,03  | 5,83  |
| Белдеме            | -         | -        | -         | -     | 1    | 1,70±0,06  | 6,71  |
| Құйрық             | -         | -        | -         | -     | 1    | 3,12±0,10  | 12,33 |
| Сан, оның ішінде   | 3,87±0,07 | 15,31    | 3,91±0,05 | 15,47 | 2    | 7,78±0,11  | 30,78 |
| «асықты жілік      | 1,32±0,03 | 5,21     | 1,33±0,06 | 5,27  | 2    | 2,65±0,04  | 10,48 |
| «ортан жілік»      | 1,08±0,03 | 4,27     | 1,07±0,03 | 4,25  | 2    | 2,15±0,03  | 8,52  |
| «жамбас»           | 1,47±0,04 | 5,83     | 1,51±0,06 | 5,95  | 2    | 2,98±0,05  | 11,78 |
| Құйымшақ           | -         | -        | -         | -     | 1    | 0,46±0,09  | 1,83  |
| Барлық еті         |           |          |           |       |      | 25,27±0,32 | 100,0 |
| Іш майы            |           |          |           |       |      | 0,90±0,06  | -     |
| Барлық етімен майы |           |          |           |       |      | 26,17±0,53 | -     |
| Тірі салмағы       |           |          |           |       |      | 50,56±0,68 | -     |
| Ет май шығымы      |           |          |           |       | 20   | 50,30±0,21 | -     |

Келешекте осы ұсыныстар егжей-текжей сарапталып өмір сұранысымен өндіріс талабына сай жүзеге асырылса.

Қорытынды.

Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде Оңтүстік қазақ меринос қойы тұқымының өндіруші қошқарларын ерте жастан бағалау селекциялық жұмыстың тиімділігін арттыруда маңызды әдіс екендігі анықталды. Қошқарларды 7 айлық жаста аналықтармен шағылыстыру және олардың ұрпақтарының 4,5–7 айлық кезеңдегі тірілей салмағы, жүн ұзындығы, жүн қырқымы мен ет өнімділігі көрсеткіштері бойынша бағалау арқылы асыл тұқымдық сапаларын алдын ала дәл болжауға мүмкіндік беретіні дәлелденді.

Зерттеу барысында №101200, №102255 және №205060 қошқарларының ұрпақтары тірілей салмақ, жүн ұзындығы және жүн қырқымы көрсеткіштері бойынша орташа деңгейден жоғары нәтиже көрсетіп, жақсартушы қошқарлар ретінде танылды. Ал №103099 және №204001 қошқарларының ұрпақтарында өнімділік көрсеткіштері төмен болып, олардың селекциялық құндылығы жеткіліксіз екендігі анықталды. Бұл нәтижелер қошқарлардың генетикалық әлеуетін ерте кезеңде анықтау арқылы табындағы селекциялық іріктеуді жеделдетуге болатынын көрсетті.

Сонымен қатар, қозылардың ет өнімділігін зерттеу барысында 7 айлық жастағы малдардың сойыс шығымы, ұша сапасы және жұмсақ ет үлесі жоғары болғаны байқалды. Егіз туған қозылардың жеке салмағы төмен болғанымен, бір аналықтан алынатын жалпы ет өнімі жоғары болып, экономикалық тиімділігі басым екендігі анықталды. Ұша құрылымын талдау барысында бірінші сортты мүшелердің үлесі жоғары деңгейде қалыптасқаны анықталып, бұл зерттелген қойлардың ет сапасының жақсы дамығанын дәлелдеді.

Тәжірибе деректерін жинақтау үшін арнайы сойылған қой тұқымының 7 айлық бордақылаған

қошқарлары (n-3) бастан алып сойылған бұл зерттеу тәжірибе жұмысы институт қабырғасындағы мал корасында жүргізілді.

Кесте 9. 7-айлық қой ұшасының сорттары.

| Мүшесіне байланысты етін сортау | Мүше саны | Салмағы, кг (M±m) | % шығымы |
|---------------------------------|-----------|-------------------|----------|
| I сорт                          |           |                   |          |
| Жаурын                          | 2         | 1,90±0,03         | 7,53     |
| Сүбе                            | 2         | 3,45±0,06         | 13,63    |
| Белдеме                         | 1         | 1,70±0,06         | 6,71     |
| Құйрық                          | 1         | 3,12±0,10         | 12,33    |
| Жамбас                          | 2         | 2,98±0,05         | 11,78    |
| Орта жілік                      | 2         | 2,15±0,03         | 8,52     |
| 5-ші кестенің жалғасы           |           |                   |          |
| Асықты жілік                    | 2         | 2,65±0,04         | 10,48    |
| Барлығы                         | 12        | 17,95±0,37        | 70,98    |
| II сорт                         |           |                   |          |
| Омыртқа                         | 1         | 1,47±0,03         | 5,83     |
| Төс                             | 1         | 1,31±0,05         | 5,20     |
| Тоқпан жілік                    | 2         | 1,19±0,03         | 4,68     |
| Барлығы                         | 4         | 3,97±0,11         | 15,71    |
| III сорт                        |           |                   |          |
| Мойын                           | 1         | 1,71±0,07         | 6,78     |
| Кәрі жілік                      | 2         | 1,18±0,05         | 4,70     |
| Құйымшақ                        | 1         | 0,46±0,09         | 1,83     |
| Барлығы                         | 4         | 3,35±0,21         | 13,31    |
| Тұтас ұша                       | 20        | 25,27±0,69        | 100,0    |
| Іш майы                         |           | 0,90±0,06         |          |
| Барлық ет майы                  |           | 26,17±0,75        |          |
| Тірі салмағы                    |           | 50,56±0,68        |          |
| Сойыс шығымы                    |           | 51,7±0,21         |          |

Жалпы алғанда, өндіруші қошқарларды ұрпағының сапасы бойынша ерте бағалау әдісі селекциялық жұмысты екі жылға дейін жеделдетуге, генетикалық тұрғыдан құнды малдарды дер кезінде іріктеп алуға және шаруашылықтағы экономикалық шығындарды азайтуға мүмкіндік береді. Осы әдісті тәжірибелік қой шаруашылығында кеңінен қолдану Қазақстан қой шаруашылығында асыл тұқымдық жұмыстардың сапасын арттырып, жоғары өнімді қой табындарын қалыптастыруға негіз болады.

#### REFERENCES

- Alpamysova G.B., Dauylbay A.D., Mussabekov A.T., Yelbayeva G.I., Yermekbayeva A.T., Daurenbekova K.P. (2026). Development of the Breed of South Kazakh Merino Sheep and Technological Parameters of Wool Quality. *Animal Husbandry and Aquaculture*. 2026. Vol. 2. № 1. Pp. 366–377. <https://doi.org/10.52578/3134-8572-2026-2-366-377>.
- Ombayev A.M., Beisheva I.S., Aryngaziev B.S., Omashev K.B. (2025). Growth and Development Characteristics of the Ordabasy Sheep Breed in the Zhetysay Region of Kazakhstan. *Izdenister, Natizheler (Researches, Results)*. 2025. № 4 (108). <https://doi.org/10.37884/4-2025/08>. [in Eng.].
- Orakbayeva A.D., Adylkanova Sh.R., Sadykulov T.S., Sansyzbayeva B.Q. (2023). Formation of Meat Productivity in Lambs of the Saryarka Fat-Tailed Sheep Breed (Intra-Breed Zhanaarkinsky Type). *Izdenister, Natizheler (Researches, Results)*. 2023. № 4. <https://doi.org/10.37884/4-2023/03>. [in Eng.].
- Mukanova L., Kırıkçı K., Sadykulova T., Baimazhiya Y., Zhumagaliyeva G., Adylkanova Sh. (2024). Effect of DGAT1 Gene Polymorphisms in Coarse-Haired Fat-Tailed Lambs of Different Genotypes. *Brazilian Journal of Biology*. 2024. Vol. 84. e285041. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.285041>. [in Eng.].
- Islamov E.I., Kulmanova G.A., Kulataev B.T., Zhumanova A.I. (2021). A Genetic Basis for Improving the Reproductive Qualities and Productivity of South-Kazakh Merinoes. *Archives of Razi Institute*. 2021. Vol. 76. № 5. Pp. 1371–1380. <https://doi.org/10.22092/ari.2021.356168.1795>. [in Eng.].
- Torekhanov A.A., Zhumadillaev N.K. (2021). Etti Merinos – Kazakhstani Export-Oriented Meat Breed // Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. 2021. № 1. Pp. 146–151. [in Eng.]. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-1483.21>.
- Iskakov K., Kulataev B.T., Zhumagaliyeva G.M., Miqu P. (2017). Productive and Biological Features of Kazakh Fine-Wool Sheep in the Conditions of the Almaty Region – el Pares. *OnLine Journal of Biological Sciences*. 2017. Vol. 17. № 3. Pp. 219–225. <https://doi.org/10.3844/ojbsci.2017.219.225>. [in Eng.].
- Islamov E.I., Kulataev B.T. (2018). Increasing the Wool Productivity of South Kazakh Merino Ewes Bred in the Conditions of Batai-Shu

LLP. Scientific News in Agricultural Industry. 2018. № 2 (11). Pp. 355–359. [in Eng.].

Zhumagaliyeva G.M., Shynybayev D.S. (2014). Evaluation of Rams Based on the Quality of Their Offspring at an Early Age. Proceedings of the XXX International Scientific and Practical Conference “Innovations in Science”. 2014. № 2 (27). Part 2. P. 9. Novosibirsk. <https://sibac.info/conf/innovation/xxx/37093>. [in Eng.].

Zhumagaliyeva G.M., Shynybayev D.S., Dimov D.P., Anarbekova Dzh., Akimzhan N. (2015). Meat Qualities of Young Animals Obtained from Rams Used for Mating Ewes at an Early Age. Biosciences Biotechnology Research Asia. 2015. Vol. 12. № 1. Pp. 453–457. <https://doi.org/10.13005/bbra/1685>. [in Eng.].

Medeubekov K.U., Nartbayev A., et al. (2000). Guidelines for the Bonitation (Grading) of Fine-Fleece Sheep. Astana. 2000. P. 30. [in Eng.].

Lachari M.H., Tasawar Z. (2013). Genetic Potential of Lochi Sheep of Multan, Pakistan. Scientific Journal of Animal Science. 2013. Vol. 2. № 9. Pp. 253–264. [in Eng.].

Begimkul B.K. (2012). Biometrics. Almaty: Nur-Print. 2012. P. 36. [in Eng.].

Begimbekov Q.N., Torekhanov A.A., Baizhumanov A. (2015). Animal Breeding and Selection. Textbook. Almaty: Evero. 2015. 428 p. [in Eng.].

**Жумағалиева Гулшад Махамбетовна** — Сансызбаева Бибігүл Қуатжанқызы.

**Орақбаева Айнұр Дюсембекқызы** — зерттеу, деректерді жинақтау, мақаланы жазу, материалды өңдеу.

**Жумағалиева Гулшад Махамбетовна** — тұжырымдама, жобаны басқару, редакциялау.

**Кадыкен Ризабек** — әдістеме, бақылау, әдебиетке шолу.



***T.N. Karymsakov, A.A. Torehanov, B.B. Yergali, D.D. Atageldiyev\****

Limited Liability Partnership «Kazakh Research Institute of Livestock and Fodder Production», Almaty, Kazakhstan.

E-mail: [datageldiyev@mail.ru](mailto:datageldiyev@mail.ru)

## **ASSESSMENT OF THE BODY TYPE OF BREEDING BULL CALVES WHEN TESTING THEM FOR THEIR OWN PRODUCTIVITY**

**Karymsakov Talgat Nikolaevich**, Doctor of Agricultural Sciences, Deputy Chairman of the Management Board for Science, Kazakh Research Institute of Livestock and Fodder Production LLP, Almaty, Kazakhstan  
E-mail: [kartalgat@mail.ru](mailto:kartalgat@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4398-8840>;

**Torekhanov Aibyn Adebkhanovich**, Doctor of Agricultural Sciences, Chairman of the Management Board, Kazakh Research Institute of Livestock and Fodder Production LLP, Almaty, Kazakhstan  
E-mail: [torehanov.aibyn@mail.ru](mailto:torehanov.aibyn@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-3237-3683>;

**Yergali Bekarys Bakdauletuly**, Junior Researcher, Kazakh Research Institute of Livestock and Fodder Production LLP, Almaty, Kazakhstan  
E-mail: [bekarys.yergali@mail.ru](mailto:bekarys.yergali@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1908-0237>;

**Atageldiev Damir Dalelkhanovich**, Leading Specialist, Kazakh Research Institute of Livestock and Fodder Production LLP, Almaty, Kazakhstan  
E-mail: [datageldiyev@mail.ru](mailto:datageldiyev@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0001-1399-7554>.

**Abstract.** At present, traditional conformation assessment of replacement bulls in foreign countries is gradually being replaced by a linear scoring system for individual traits, which is an effective method within modern animal phenotyping systems. At the Dauren farm, conformation type of replacement bulls was assessed using an international scoring system when the animals were removed from their own-performance testing. Eleven conformation traits were evaluated for each animal. Subsequently, some of the traits were combined into different functional groups (body, muscling, and feet and legs), which were then integrated into an overall conformation type. The results showed that individual conformation traits exhibited considerable variability, ranging from 3.5 to 50.6 %. The mean score for the “Body” functional group was 79.7 points, with a coefficient of variation of 20.3 %; the score for “Muscling” was –75.6, while the score for “Feet and Legs” was 86.2 %. When all functional groups were combined into an overall conformation type, the score was 75.3 points. Of the six conformation-type categories, 81.2 % of the animals were classified as “Good+,” “Excellent,” or “Superior.” The largest proportion of animals (47.8 %) belonged to the “Good+” category. It was also established that the live weight of the bulls increased with increasing conformation category. Thus, the findings demonstrated that the application of a linear conformation scoring system for replacement bulls provides a more comprehensive and objective characterization of their conformation. In the long term, this approach may contribute to accelerating genetic progress in beef cattle herds, increasing productivity, and improving regulatory and methodological frameworks in the field of beef cattle breeding.

**Keywords:** beef cattle production, replacement bulls, conformation, linear evaluation, body type

**For citation:** Karymsakov T.N., Torekhanov A.A., Yergali B.B., Atageldiev D.D. (2026). Assessment of the body type of breeding bull calves when testing them for their own productivity // Research, results – Изденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 49–62. <https://doi.org/10.37884/4-2026/04> [In Russ.].

**Conflict of Interest:** the authors declare that they have no conflict of interest.

**Funding:** *the research was conducted as part of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan's program-targeted funding for 2024–2026 under scientific and technical program BR22885686 «Development of a system for the genetic improvement of beef breeds using innovative methods of molecular genetics, breeding, and digital technologies».*

**Т.Н. Карымсақов, А.А. Төреханов, Б.Б. Ерғали, Д.Д. Атагелдиев\***

Қазақ мал шаруашылығы және жемшөп өндірісі ғылыми-зерттеу институты ЖШС, Алматы,  
Қазақстан.

E-mail: datageldiyev@mail.ru

## **ӨНІМДІЛІГІН СЫНАУ КЕЗІНДЕ ӨСІРУГЕ АРНАЛҒАН БҰҚА ТӨЛДЕРІНІҢ ДЕНЕ БІТІМІН БАҒАЛАУ**

**Карымсақов Талғат Николаевич**, ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, ғылым жөніндегі басқарма төрағасының орынбасары, «Қазақ мал шаруашылығы және жемшөп өндірісі ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан

E-mail: kartalgat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4398-8840>;

**Төреханов Айбын Әдепханұлы**, ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, басқарма төрағасы, «Қазақ мал шаруашылығы және жемшөп өндірісі ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Алматы қаласы, Қазақстан

E-mail: torehanov.aibyn@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3237-3683>;

**Ерғали Бекарыс Бақдаулетұлы**, кіші ғылыми қызметкер, «Қазақ мал шаруашылығы және жемшөп өндірісі ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан

E-mail: bekarys.yergali@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1908-0237>;

**Атагелдиев Дамир Далелханұлы**, жетекші маман, «Қазақ мал шаруашылығы және жемшөп өндірісі ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан

E-mail: datageldiyev@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-1399-7554>.

**Аннотация.** Қазіргі уақытта шетелдерде жөндеу бұқашықтардың экстерьерін дәстүрлі бағалау біртіндеп жекелеген белгілерді сызықтық бағалау жүйесімен алмастырылуда. Бұл жүйе жануарларды заманауи фенотиптеу жүйесінің тиімді әдістерінің бірі болып табылады. «Даурен» шаруа қожалығы базасында жөндеу бұқашықтарды өзіндік өнімділігі бойынша сынақтан шығару кезінде халықаралық жүйе негізінде олардың дене бітімі типіне бағалау жүргізілді. Әрбір жануар бойынша экстерьердің 11 белгісі бағаланды. Кейіннен жекелеген белгілер әртүрлі функционалдық топтарға («Дене бітімі», «Бұлшық еттілігі», «Аяқтары») біріктіріліп, өз кезегінде жалпы дене бітімі типін сипаттайтын кешенді көрсеткішке топтастырылды. Зерттеу нәтижелері экстерьердің жекелеген белгілерінің айтарлықтай жоғары өзгергіштікпен сипатталатынын көрсетті (3,5-тен 50,6-ға дейін). «Дене бітімі» функционалдық тобы бойынша жануарлардың орташа көрсеткіші 79,7 баллды құрап, вариация коэффициенті 20,3 % болды; «Бұлшық еттілігі» бойынша көрсеткіш -75,6 балл, ал «Аяқтары» бойынша – 86,2 % құрады. Барлық функционалдық топтарды тұтас дене бітімі типіне біріктірген кезде жалпы көрсеткіш 75,3 баллды құрады. Дене бітімі типінің 6 санатының ішінде жануарлардың 81,2 %-ы «жақсы +», «өте жақсы» және «үздік» санаттарына жатқызылды. Бұл ретте жануарлардың ең көп бөлігі «жақсы +» санатына тиесілі болып, 47,8 %-ды құрады. Сонымен қатар, бұқашықтардың дене бітімі типі санаты жоғарылаған сайын олардың тірілей салмағының артатыны анықталды. Осылайша, жүргізілген зерттеулер жөндеу бұқашықтардың дене бітімін сызықтық бағалау жүйесін қолдану олардың экстерьерін неғұрлым толық әрі объективті сипаттауға мүмкіндік беретінін көрсетті. Бұл, өз кезегінде, болашақта етті бағыттағы ірі қара мал табындарында генетикалық прогресті жеделдетуге, өнімділікті арттыруға және асыл тұқымды етті мал шаруашылығы саласындағы нормативтік-құқықтық актілерді жетілдіруге мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** етті бағыттағы ірі қара мал шаруашылығы, жөндеу бұқашықтары, экстерьер, сызықтық бағалау, дене бітімі

**Дәйексөз келтіру үшін:** Карымсақов Т.Н., Төреханов А.А., Ерғали Б.Б., Атагелдиев Д.Д. (2026). Өнімділігін сынау кезінде өсіруге арналған бұқа төлдерінің дене бітімін бағалау // Research, results

– Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 49–62. <https://doi.org/10.37884/4-2026/04> [In Russ.].

**Мүдделер қақтығысы:** авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

**Қаржыландыру:** зерттеу Қазақстан Республикасы Ауыл шаруашылығы министрлігінің 2024–2026 жылдарға арналған бағдарламалық-нысаналы қаржыландыруы шеңберінде BR22885686 «Молекулалық генетиканың, селекцияның инновациялық әдістері мен цифрлық технологияларды қолдана отырып, етті бағыттағы ірі қара мал тұқымдарын генетикалық жетілдіру жүйесін әзірлеу» ғылыми-техникалық бағдарламасы бойынша жүргізілді.

**Т.Н. Карымсаков, А.А. Тореханов, Б.Б. Ергали, Д.Д. Атагелдиев\***

ТОО Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства, Алматы, Казахстан.

E-mail: datageldiyev@mail.ru

## ОЦЕНКА ТИПА ТЕЛОСЛОЖЕНИЯ РЕМОНТНЫХ БЫЧКОВ ПРИ ИСПЫТАНИИ ПО СОБСТВЕННОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ

**Карымсаков Талгат Николаевич**, доктор с-х наук, заместитель председателя Правления по науке, ТОО Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства, Алматы, Казахстан

E-mail: kartalgat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4398-8840>;

**Тореханов Айбын Адебханович**, доктор с-х наук, председатель Правления, ТОО Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства, Алматы, Казахстан

E-mail: torehanov.aibyn@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3237-3683>;

**Ергали Бекарыс Бакдаuletулы**, младший научный сотрудник, ТОО Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства, Алматы, Казахстан

E-mail: bekarys.yergali@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1908-0237>;

**Атагелдиев Дамир Далелханович**, ведущий специалист, ТОО Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства, Алматы, Казахстан

E-mail: datageldiyev@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-1399-7554>.

**Аннотация.** В настоящее время традиционная оценка экстерьера ремонтных бычков в зарубежных странах постепенно заменяется линейной системой оценки отдельных признаков, которая является эффективным методом современной системы фенотипирования животных. На базе КХ Даурен при снятии ремонтных бычков с испытаний по собственной продуктивности была проведена оценка типа телосложения животных по международной системе. По каждому животному было оценено 11 признаков экстерьера. В последующем часть признаков была объединена в различные функциональные группы (корпус, мускулатура, конечности), которые в свою очередь были объединены в целостный тип телосложения. Результаты исследований показали, что отдельные признаки экстерьера отличались достаточно большой вариабельностью (от 3,5 до 50,6). Среднее значение животных по функциональной группе «Корпус» составило 79,7 баллов, при коэффициенте вариации 20,3 %; балл за «Мускулатуру» был равен – 75,6, а за конечности – 86,2 %. При объединении всех функциональных групп в целостный тип телосложения балл составил 75,3. Из 6 категорий типа телосложения 81,2 % животных получили категории «хороший +», «отличный» и «превосходный». При этом наибольшее поголовье относилось к категории «хороший +» – 47,8 %. Также установлено, что живая масса бычков увеличивалась по мере повышения их категорий. Таким образом, проведённые исследования показали, что применение системы линейной оценки типа телосложения ремонтных бычков позволяет более полно и объективно охарактеризовать их экстерьер, что в перспективе позволит ускорить генетический прогресс в стадах мясного скота, повысить продуктивность и совершенствовать нормативно-правовые акты в области племенного мясного скотоводства.

**Ключевые слова:** мясное скотоводство, ремонтные бычки, экстерьер, линейная оценка, тип телосложения

**Для цитирования:** Карымсаков Т.Н., Тореханов А.А., Ергали Б.Б., Атагелдиев Д.Д. (2026).

Оценка типа телосложения ремонтных бычков при испытании по собственной продуктивности // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 49–62. <https://doi.org/10.37884/4-2026/04> [In Russ.].

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследования проводились в рамках программно-целевого финансирования Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан на 2024–2026 гг. по научно-технической программе BR22885686 «Разработка системы генетического совершенствования мясных пород с применением инновационных методов молекулярной генетики, селекции и цифровых технологий».

## Введение.

Современные программы разведения крупного рогатого скота преимущественно сосредоточены на селекции и связаны с продуктивными показателями и репродуктивными признаками. При этом достаточно ограниченное внимание уделяется экстерьеру и типу телосложения крупного рогатого скота [Zindove, 2015: 49–56; Krupová, 2025; Карымсаков, 2019a: 97–101; Карымсаков, 2019b: 101–105]. Между тем, телосложение крупного рогатого скота, включающее отдельные экстерьерные признаки (размер, форму и пропорцию тела, контуры мышц и структуру скелета), является всеобъемлющим показателем продуктивности животного, состояния его здоровья и племенной ценности [Alders, 2021: 20–29; Velado-Alonso, 2022: 1035–1048; Ma, 2024: 306]. Животные с идеальным телосложением, как правило, демонстрируют превосходный потенциал роста, устойчивость к болезням и адаптивность к различным условиям разведения [Simon, 2025]. Эти морфологические признаки определяют породу, направление продуктивности и играют решающую роль в оценке физического здоровья и формировании экономической эффективности предприятия [Gutiérrez-Reinoso, 2023: 1588].

Отмечается, что наследуемость основных экстерьерных признаков у крупного рогатого скота достаточно высока [Kamprasert, 2019: 1576–1582; Khan, 2018: 431–440] и в значительной степени зависит от генетического состава, означающего, что влияние окружающей среды на данные признаки незначительно. Поэтому названные признаки весьма хорошо поддаются эффективному отбору [Mazza, 2014: 27–35].

В практике мясного скотоводства для улучшения племенных и продуктивных качеств отдельных стад, пород и популяций в целом повсеместно применяется метод испытаний бычков по собственной продуктивности. Этот метод позволяет объективно оценивать генетический потенциал животных, производить ранний отбор производителей, способных передавать потомству высокую скорость роста, эффективное использование кормов, крепкую конституцию и хорошо развитые мясные формы [BIF, 2024; FAO, 2015].

В соответствии с Правилами проведения испытаний племенных бычков по собственной продуктивности (МСХ РК, 2023), при снятии их с испытаний, помимо основных селекционируемых признаков, оценивают мясные формы, которые включают в себя 6 экстерьерных признаков. Однако в зарубежных странах в последние годы традиционная оценка экстерьера ремонтных бычков постепенно заменяется линейной системой оценки отдельных признаков, что рассматривается как один из эффективных методов современной системы фенотипирования животных. При линейном методе оценивают, как минимум 11 основных признаков экстерьера, и их оценка проводится по бальной системе. Оцениваемые линейные признаки животного в совокупности представляют собой тип телосложения, при котором возникает возможность получения объективного представления как по каждой особи, так и по отдельным стадам, и популяции, в целом. Такой подход позволяет селекционерам вести корректирующий подбор пар с целью устранения отдельных недостатков экстерьера в каждом новом поколении [Карымсаков, 2019: 40].

## Материалы и методы

Материалом для исследований послужили бычки казахской белоголовой породы в возрасте 12 месяцев, закончившие испытания по собственной продуктивности в количестве 117 голов в условиях КХ «Даурен», Жарминского района, Абайской области.

Измерение статей экстерьера у бычков проводили посредством зоотехнической мерной палки (высота в крестце), циркулем (ширина груди, ширина за лопатками, ширина бедра) и лентой (длина спины, длина таза). Такие экстерьерные признаки, как выраженность филейной части и окороков, постановка ног с боку, сзади и спереди оценивались глазомерно по 5-ти бальной шкале.

Перевод физически измеренных экстерьерных признаков в баллы, оценку за «Корпус», «Мускулатуру», «Конечности» и «Общий тип телосложения» проводили посредством разработанных ранее формул.

Биометрическую обработку цифровых материалов, полученных при изучении экстерьерных признаков и живой массы, проводили с использованием программы Excel.

### **Результаты.**

Известно, что экстерьер каждой особи представляет собой внешнее проявление её генотипа и отражает особенности конституции, интенсивность роста, развитие мускулатуры, костяка и конечностей. Особое значение оценка экстерьера имеет в раннем возрасте, что позволяет сократить затраты на выращивание малоперспективных животных, повысить точность отбора производителей и ускорить генетическое совершенствование популяций.

Комплексная оценка экстерьера позволяет не только выявить индивидуальные особенности животных, но и установить соответствие их телосложения желательному типу, характерному для конкретного направления продуктивности. Анализ основных промеров даёт возможность судить о пропорциональности развития туловища, глубине и ширине груди, развитию тазовой части, а также степени выраженности наиболее важных мясных форм. Сочетание промеров с балльной оценкой отдельных статей экстерьера позволяет получить более полную характеристику животных и повысить объективность отбора.

Особое внимание при оценке экстерьера следует уделять признакам, связанным с мясной продуктивностью. К ним относятся ширина груди, ширина за лопатками, ширина бедра, выраженность филейной части и окороков. Хорошее развитие этих признаков свидетельствует о достаточном развитии мускулатуры и желательном типе телосложения. Вместе с тем важное значение имеет правильная постановка конечностей, поскольку от состояния костяка и опорно-двигательного аппарата во многом зависят крепость конституции, продолжительность хозяйственного использования животных и их способность эффективно реализовывать генетический потенциал продуктивности.

В связи с этим особое значение приобретает комплексная оценка экстерьера, позволяющая не только охарактеризовать особенности телосложения животных, но и определить степень выраженности хозяйственно полезных признаков, связанных с их продуктивным потенциалом. Сопоставление результатов промеров и глазомерной оценки даёт возможность более объективно оценить пропорциональность развития отдельных статей, степень развития мускулатуры, костяка и конечностей, а также выявить индивидуальные различия между животными.

С этой целью в КХ «Даурен» при снятии бычков с испытаний по собственной продуктивности была проведена комплексная оценка 11 экстерьерных признаков. Из них 6 признаков определяли путём непосредственных измерений, а 5 оценивали глазомерно в баллах. Такой подход позволил получить целостное представление об особенностях экстерьера исследуемых бычков и степени однородности группы по основным показателям. Результаты оценки представлены в таблице 1.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что ремонтные бычки характеризуются достаточно выраженным развитием основных линейных промеров и относительно высокой однородностью по основным показателям телосложения.

Установленные параметры животных по высоте в крестце свидетельствуют о среднем уровне развития данного признака –  $116,1 \pm 0,25$  см. Если согласно принятой методике оценки для животных данного возраста более рослыми считаются бычки с высотой в крестце 120 см и выше, то исследуемая группа в среднем относится к животным со средними параметрами по высоте. При оценке данного признака необходимо учитывать, что как недостаточно высокорослые, так и чрезмерно высокорослые животные могут иметь определённые ограничения при племенном отборе. Животные с недостаточно развитым костяком и низкой живой массой могут характеризоваться меньшим потенциалом продуктивности, тогда как чрезмерно высокорослые животные нередко отличаются более поздним формированием и требуют больших затрат на выращивание. В этой связи умеренная высота тела в сочетании с хорошо развитой мускулатурой и достаточной упитанностью может рассматриваться как одно из желательных направлений формирования типа ремонтного молодняка.

По комплексу промеров ремонтные бычки характеризуются достаточно растянутым корпусом и хорошо выраженными широтными промерами. Так, длина спины составила  $69,1 \pm 0,19$  см, длина таза –  $29,0 \pm 0,18$  см, что свидетельствует о достаточно развитом туловище. Средние значения ширины груди и

ширины за лопатками были одинаковыми и составили  $19,9 \pm 0,14$  см. Данные показатели характеризуют развитие передней части туловища и могут использоваться при оценке гармоничности телосложения и степени развития грудной клетки. Наибольшее значение среди широтных промеров отмечено по ширине бедра –  $33,91 \pm 0,11$  см, что свидетельствует о хорошо развитой тазобедренной части и выраженности задней части туловища.

Таблица 1. Показатели линейных промеров и балльной оценки типа телосложения ремонтных бычков ( $n=117$ ).

| № п/п | Признаки экстерьера         | В сантиметрах    | В баллах |                |       |
|-------|-----------------------------|------------------|----------|----------------|-------|
|       |                             | $M \pm m$        | $C_v$    | $M \pm m$      | $C_v$ |
| 1     | Высота в крестце            | $116,1 \pm 0,25$ | 2,30     | $2,6 \pm 0,12$ | 50,6  |
| 2     | Длина спины                 | $69,1 \pm 0,19$  | 2,96     | $3,9 \pm 0,08$ | 21,0  |
| 3     | Длина таза                  | $29,0 \pm 0,18$  | 6,52     | $3,7 \pm 0,08$ | 23,8  |
| 4     | Ширина груди                | $19,9 \pm 0,14$  | 7,60     | $4,0 \pm 0,09$ | 24,5  |
| 5     | Ширина за лопатками         | $19,9 \pm 0,14$  | 7,65     | $4,0 \pm 0,09$ | 24,5  |
| 6     | Ширина бедра                | $33,91 \pm 0,11$ | 3,55     | $3,8 \pm 0,07$ | 20,2  |
| 7     | Выраженность филейной части | -                | -        | $3,5 \pm 0,10$ | 31,1  |
| 8     | Выраженность окороков       | -                | -        | $3,6 \pm 0,10$ | 28,5  |
| 9     | Постановка задних ног сбоку | -                | -        | $3,1 \pm 0,01$ | 3,5   |
| 10    | Постановка задних ног сзади | -                | -        | $3,3 \pm 0,01$ | 4,1   |
| 11    | Постановка передних ног     | -                | -        | $3,2 \pm 0,01$ | 4,8   |

При рассмотрении результатов балльной оценки экстерьера следует отметить, что при максимальной оценке в 5 баллов большинство признаков получили значения выше среднего уровня. Средняя оценка длины спины составила  $3,9 \pm 0,08$  балла, длины таза –  $3,7 \pm 0,08$ , ширины груди и ширины за лопатками – по  $4,0 \pm 0,09$  балла, а ширины бедра –  $3,8 \pm 0,07$  балла. Таким образом, по совокупности оцениваемых признаков животные характеризуются достаточно хорошо выраженными экстерьерными формами.

Глазомерная оценка мясных форм показала, что выраженность филейной части составила в среднем  $3,5 \pm 0,10$  балла, а выраженность окороков –  $3,6 \pm 0,10$  балла. При пятибалльной системе оценки данные показатели соответствуют уровню несколько выше среднего и свидетельствуют о достаточно удовлетворительном развитии наиболее значимых в отношении мясной продуктивности частей тела. Вместе с тем, полученные значения указывают на наличие резерва для дальнейшего совершенствования мясных форм при проведении отбора и подбора.

Отдельного внимания заслуживают показатели постановки конечностей. Следует отметить, что оценка за конечности у животных со всех сторон оценивается в 3,1–3,3 балла, что указывает на идеально правильно и широко поставленную постановку ног с наклоном в 45 градусов. Отклонение от данных значений в большую или в меньшую сторону указывало бы на нежелательные сильно изогнутые или прямо поставленные конечности, Х-образную или О-образную постановку ног.

Анализ коэффициентов вариации показывает, что исследуемые ремонтные бычки характеризуются высокой степенью однородности по высоте в крестце ( $C_v=2,30$  %), длине спины ( $C_v=2,96$  %) и ширине бедра ( $C_v=3,55$  %). По длине таза ( $C_v=6,52$  %), ширине груди ( $C_v=7,60$  %) и ширине за лопатками ( $C_v=7,65$  %) изменчивость была несколько выше, однако также оставалась в пределах умеренного уровня. Таким образом, по абсолютным промерам животные представляют собой достаточно выровненную группу.

Вместе с тем, при сопоставлении результатов измерений с балльной оценкой отдельных признаков отмечается более высокая вариабельность последних. Например, по высоте в крестце коэффициент вариации абсолютного промера составил всего 2,30 %, тогда как по соответствующей балльной оценке – 50,6 %. Подобное различие обусловлено особенностями самой системы балльной оценки:

количественные промеры представляют собой непрерывные величины, тогда как при переводе признака в баллы непрерывный ряд значений распределяется по ограниченному числу категорий. Поэтому относительно небольшие различия в абсолютных значениях признака могут приводить к различиям в его балльной характеристике, что закономерно отражается на величине коэффициента вариации.

Следует отметить, что в практике отечественной зоотехнии в настоящее время отсутствуют унифицированные нормативные значения по всем линейным промерам мясного скота, которые могли бы использоваться в качестве единственного эталона при оценке экстерьера животных. В связи с этим интерпретация полученных промеров должна осуществляться не только с учётом абсолютных величин, но и во взаимосвязи между отдельными статьями, возрастом животных, породной принадлежностью и особенностями конкретной популяции. Особое значение при этом приобретает оценка пропорциональности телосложения, поскольку отдельный промер, взятый изолированно, не всегда позволяет объективно характеризовать желательный тип животного.

В практике селекции мясного скота зарубежных стран более широкое распространение получили системы линейной оценки экстерьера, предусматривающие классификацию животных по степени выраженности отдельных признаков – от нежелательного типа до хорошо выраженного и превосходного. Преимущество такого подхода заключается в возможности комплексной характеристики животного с учётом не только размеров отдельных статей, но и их функционального значения для формирования мясной продуктивности, крепости конституции и продолжительности хозяйственного использования.

В основу подобной классификации мясного скота по типу телосложения может быть положен принцип объединения отдельных экстерьерных признаков в функциональные группы, каждая из которых характеризует определённую сторону формирования организма животного. Такой подход позволяет перейти от оценки отдельных статей экстерьера к более обобщённой характеристике типа телосложения и получить интегральный показатель, пригодный для сравнительной оценки животных.

В исследовании выделены три функциональные группы экстерьерных признаков. Первая группа характеризует формирование корпуса и включает высоту в крестце, длину спины, длину таза и ширину груди. Данные признаки в совокупности отражают размеры и пропорции туловища, степень его растянутости, развитие грудной и тазовой частей. Хорошо сформированный корпус является одной из важных предпосылок гармоничного развития животного и реализации его продуктивного потенциала.

Вторая функциональная группа объединяет признаки, характеризующие развитие мускулатуры и мясных форм: ширину за лопатками, выраженность филейной части, выраженность окороков и ширину бедра. Именно эта группа признаков имеет особое значение при оценке животных мясного направления продуктивности, поскольку степень развития мускулатуры непосредственно связана с формированием наиболее ценных в технологическом отношении частей туши. При этом важно учитывать не только абсолютное развитие отдельных мышечных групп, но и их равномерность и пропорциональность относительно общего телосложения животного.

Третья функциональная группа характеризует постановку и состояние конечностей и включает оценку постановки задних ног сбоку, задних ног сзади и передних ног. Правильное развитие и постановка конечностей имеют важное функциональное значение, поскольку обеспечивают устойчивость животного, нормальное передвижение и способность выдерживать значительную живую массу. Поэтому данный комплекс признаков должен рассматриваться не только с позиции экстерьера, но и как характеристика крепости конституции и функциональной пригодности животных.

Таким образом, объединение отдельных экстерьерных признаков в функциональные группы позволяет осуществить более комплексную и объективную оценку типа телосложения. Поэтому на основании результатов балльной оценки каждого экстерьерного признака была рассчитана средняя оценка по каждой функциональной группе. Полученные показатели позволили определить степень выраженности отдельных составляющих экстерьерного типа – формирования корпуса, развития мускулатуры и постановки конечностей. В дальнейшем на основании совокупности оценок по трём функциональным группам был определён интегральный балл общего типа телосложения животных.

Полученные данные позволяют перейти от анализа отдельных линейных промеров и экстерьерных признаков к оценке целостного типа телосложения исследуемого поголовья, что имеет непосредственное значение для отбора животных, наиболее полно соответствующих требованиям мясного направления продуктивности.

Результаты расчёта средних баллов по функциональным группам и общей оценки типа телосло-

жения ремонтных бычков представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты классификационной оценки функциональных групп и общего типа телосложения.

| № п/п | Функциональные группы  | В баллах        |       |
|-------|------------------------|-----------------|-------|
|       |                        | $M \pm m$       | $C_v$ |
| 1     | Корпус                 | 79,7 $\pm$ 1,31 | 20,3  |
| 2     | Мускулатура            | 75,6 $\pm$ 1,15 | 16,3  |
| 3     | Конечности             | 86,2 $\pm$ 1,14 | 18,3  |
| 4     | Общий тип телосложения | 79,3 $\pm$ 0,9  | 12,4  |

Так, анализ данных таблицы 2 показывает, что из максимальных 100 баллов средний показатель ремонтных бычков по функциональной группе «Корпус» составил 79,7 при коэффициенте вариации 20,3 %, что указывает на недостаточную однородность животных по особенностям телосложения и гармоничности развития. Бальная оценка по функциональной группе «Мускулатура» была средней – 75,6, что свидетельствует о хорошем развитии у ремонтных бычков мышечной ткани, также и коэффициент изменчивости указывает на возможность дальнейшего совершенствования 4-х экстерьерных признаков, входящие в данную группу. Наиболее высокую оценку получили бычки по функциональной группе Конечности – 86,2 балла, что свидетельствует о хорошем развитии и правильной постановке конечностей у большинства бычков, при коэффициенте вариации, определяющем необходимость ведения интенсивного отбора по составляющим группу признакам.

На основании результатов оценки отдельных функциональных групп был рассчитан общий тип телосложения, среднее значение которого составило 79,3 $\pm$ 0,90 балла при коэффициенте вариации 12,4 %. Следовательно, интегральная оценка характеризуется меньшей вариабельностью по сравнению со всеми отдельными функциональными группами. Это указывает на то, что при комплексной оценке различия между животными частично нивелируются за счёт совокупного учёта нескольких групп экстерьерных признаков. Таким образом, общий показатель более объективно отражает тип телосложения животного, чем оценка отдельной статьи или функциональной группы.

Для более детальной интерпретации результатов комплексной оценки необходимо определить, насколько полученные значения общего типа телосложения соответствуют установленным категориям классификации. Использование градации по баллам позволяет распределить ремонтных бычков по степени выраженности и гармоничности экстерьерных признаков – от неудовлетворительного до превосходного типа телосложения. Такой подход даёт возможность не только оценить средний уровень развития поголовья, но и установить структуру группы по категориям, выявить долю животных с желательным и высоко выраженным типом телосложения и определить перспективность их дальнейшего использования в племенной работе.

В соответствии с принятой классификацией, общий балл до 50 соответствует плохому, 51–60 – удовлетворительному, 61–70 – хорошему, 71–80 – хорошему+, 81–90 – отличному, а 91–100 баллов – превосходному типу телосложения. Распределение ремонтных бычков по указанным категориям позволяет дополнить среднюю оценку общего типа телосложения, представленную в таблице 2, характеристикой структуры исследуемой группы.

Из материалов таблицы 3 видно, что большинство ремонтных бычков соответствуют требованиям, предъявляемым к племенным животным. Распределение бычков по категориям показало, что практически все животные (кроме 4-х голов) имеют тип телосложения от хорошего до превосходного. При этом наибольшее количество бычков было отнесено к категории «Хороший +» – 47%. Высокие категории получили 39 голов или 33,3 %, из которых 18 % отнесены к категории «Отличный» (81–90 баллов) и 14,5 % к категории Превосходный.

Таким образом, результаты классификационной оценки свидетельствуют о достаточно высоком уровне экстерьерного развития ремонтных бычков и в целом о соответствии исследуемого поголовья требованиям, предъявляемым к племенным животным мясного направления.

Известно, что в мясном скотоводстве между экстерьером и живой массой существует тесная взаимосвязь, поскольку особенности телосложения отражают степень развития организма животного и во многом определяют его способность к интенсивному росту, накоплению мышечной ткани и фор-

мированию высокой мясной продуктивности. Поэтому изучение корреляционных связей между живой массой и экстерьерными признаками позволяет установить степень сопряженности отдельных особенностей телосложения с уровнем развития животных. Наличие положительной корреляции свидетельствует о том, что увеличение выраженности соответствующего признака сопровождается тенденцией к повышению живой массы. Вместе с тем величина коэффициента корреляции позволяет оценить тесноту такой связи и определить признаки, которые в наибольшей степени связаны с ростом и развитием животных.

Особый интерес представляет изучение взаимосвязи живой массы не только с отдельными линейными промерами, но и с функциональными группами экстерьерных признаков. Такой подход позволяет оценить комплексное влияние формирования корпуса, степени развития мускулатуры и постановки конечностей на уровень живой массы. При этом группировка признаков даёт возможность получить более обобщённую характеристику взаимосвязи экстерьера с продуктивностью и определить, какие функциональные компоненты типа телосложения в большей степени связаны с ростом животных.

Результаты распределения животных по категориям классификационной оценки общего типа телосложения представлены в таблице 3.

Таблица 3. Требования классификационной оценки ремонтных бычков по категориям типа телосложения.

| № п/п | Классификационная оценка, балл | Категория типа телосложения | Количество голов |
|-------|--------------------------------|-----------------------------|------------------|
| 1     | До 50                          | Плохой                      | -                |
| 2     | 51–60                          | Удовлетворительный          | 4                |
| 3     | 61–70                          | Хороший                     | 18               |
| 4     | 71–80                          | Хороший +                   | 56               |
| 5     | 81–90                          | Отличный                    | 22               |
| 6     | 91–100                         | Превосходный                | 17               |

Корреляционный анализ имеет также практическое значение для племенной работы. Выявление устойчивых взаимосвязей между экстерьерными признаками и живой массой позволяет использовать особенности телосложения в качестве дополнительных критериев при отборе ремонтного молодняка. Особенно ценными являются признаки, которые могут быть визуально или инструментально оценены в раннем возрасте и при этом имеют выраженную связь с последующим ростом и развитием животных. Это создаёт предпосылки для повышения эффективности раннего отбора и более целенаправленного формирования желательного мясного типа.

Вместе с тем, следует учитывать, что корреляционная связь не свидетельствует о прямой причинно-следственной зависимости между признаками. На величину живой массы оказывают влияние генотип, возраст, уровень и полноценность кормления, условия содержания, состояние здоровья и другие факторы. Поэтому результаты корреляционного анализа целесообразно рассматривать в комплексе с показателями собственной продуктивности и экстерьерной оценкой животных.

На основании обработки и анализа экспериментальных данных в таблице 4 представлены коэффициенты корреляции между живой массой ремонтных бычков и отдельными экстерьерными признаками, а также функциональными группами типа телосложения. Полученные результаты позволяют оценить направление и степень взаимосвязи между уровнем развития животных и особенностями их экстерьера, а также определить наиболее информативные признаки, которые могут быть использованы при дальнейшей оценке и отборе ремонтного молодняка.

Анализ данных таблицы 4 показывает, что между живой массой ремонтных бычков и большинством изученных экстерьерных признаков существует положительная корреляционная связь различной степени тесноты. Полученные коэффициенты корреляции свидетельствуют о том, что по мере увеличения выраженности основных параметров телосложения, характеризующих размеры корпуса и развитие мускулатуры, наблюдается закономерное увеличение живой массы животных.

Наиболее тесная связь установлена между живой массой и высотой в крестце –  $r=0,89$ . Данный коэффициент характеризует очень тесную положительную взаимосвязь и свидетельствует о значитель-

ном сопряжении роста животного и его живой массы. Иными словами, более высокорослые ремонтные бычки в исследуемой группе, как правило, отличались и большей живой массой. Это подтверждает значение высоты в крестце как одного из информативных показателей общего роста и развития молодняка.

Таблица 4. Корреляционная связь между отдельными признаками экстерьера и функциональными группами, с живой массой ремонтных бычков.

| № п/п | Экстерьерные признаки       | r    | Функциональные группы | r    | Общий тип телосложения |
|-------|-----------------------------|------|-----------------------|------|------------------------|
| 1     | Высота в крестце            | 0,89 | Корпус                | 0,84 | r=0,87                 |
| 2     | Длина спины                 | 0,75 |                       |      |                        |
| 3     | Длина таза                  | 0,79 |                       |      |                        |
| 4     | Ширина груди                | 0,69 |                       |      |                        |
| 5     | Ширина за лопатками         | 0,68 | Мускулатура           | 0,74 |                        |
| 6     | Выраженность филейной части | 0,72 |                       |      |                        |
| 7     | Выраженность окорока        | 0,61 |                       |      |                        |
| 8     | Ширина бедра                | 0,78 |                       |      |                        |
| 9     | Постановка ног сбоку        | 0,14 | Конечности            | 0,16 |                        |
| 10    | Постановка ног сзади        | 0,16 |                       |      |                        |
| 11    | Постановка ног спереди      | 0,25 |                       |      |                        |

Достаточно высокая корреляционная связь выявлена между живой массой и длиной таза ( $r=0,79$ ), шириной бедра ( $r=0,78$ ) и длиной спины ( $r=0,75$ ). Полученные значения свидетельствуют о тесной взаимосвязи живой массы с развитием туловища и тазовой части животных. Особенно важно отметить связь с шириной бедра, поскольку данный показатель характеризует развитие задней части туловища и в определённой степени отражает степень выраженности мясных форм.

Связь живой массы с выраженностью филейной части составила  $r=0,72$ , что также соответствует тесной положительной корреляции. Это указывает на то, что более высокая живая масса сопровождается тенденцией к лучшему развитию филейной части. С шириной груди и шириной за лопатками коэффициенты корреляции составили соответственно  $r=0,69$  и  $r=0,68$ . Данные показатели также свидетельствуют о достаточно тесной положительной взаимосвязи и подтверждают значение развития грудной и передней части туловища в формировании общей массы животного.

Несколько ниже была корреляция между живой массой и выраженностью окорока –  $r=0,61$ . Несмотря на более низкое значение по сравнению с другими признаками мускулатуры, связь остаётся положительной и достаточно выраженной. Это свидетельствует о том, что развитие окорока также связано с увеличением живой массы, однако степень сопряженности данного признака с общей массой животного несколько ниже, чем у высоты в крестце, длины спины или ширины бедра.

При объединении отдельных признаков в функциональные группы установлено, что наиболее тесная связь с живой массой отмечена для группы «Корпус» –  $r=0,84$ . Данный показатель свидетельствует о высокой степени сопряженности между общей развитостью туловища и живой массой ремонтных бычков. Учитывая, что в данную группу входят высота в крестце, длина спины, длина таза и ширина груди, можно заключить, что размеры и пропорции корпуса являются одними из наиболее значимых экстерьерных характеристик, связанных с уровнем развития животных.

Для функциональной группы Мускулатура коэффициент корреляции составил  $r=0,74$ , что также указывает на тесную положительную связь. Следовательно, более высокая степень развития мышечной ткани и мясных форм в целом сопряжена с увеличением живой массы. При этом связь мускулатуры с живой массой несколько слабее, чем связь группы «Корпус», что может быть обусловлено неодинаковой степенью развития отдельных мышечных признаков у животных.

Наименьшая корреляционная связь установлена между живой массой и функциональной группой «Конечности» –  $r=0,16$ . Практически аналогичные низкие значения получены по отдельным признакам этой группы: постановка ног сбоку –  $r=0,14$ , постановка ног сзади –  $r=0,16$ , постановка передних ног –  $r=0,25$ . Следовательно, в условиях данного исследования постановка конечностей практически не связана с уровнем живой массы. Это закономерно, поскольку данные признаки характеризуют прежде всего правильность строения и функциональную пригодность конечностей, а не непосредственно размеры и массу тела.

Особого внимания заслуживает коэффициент корреляции между общим типом телосложения и живой массой, который составил  $r=0,87$ . Данная величина свидетельствует о очень тесной положительной связи комплексной оценки типа телосложения с живой массой. Полученный результат имеет практическое значение, поскольку показывает, что интегральная оценка экстерьерера может быть более информативной при характеристике общего уровня развития животных, чем отдельные признаки, рассматриваемые изолированно.

Полученные результаты позволяют предположить, что при отборе ремонтных бычков наряду с непосредственной оценкой живой массы целесообразно учитывать и общую оценку типа телосложения, что подтверждается отражёнными на рисунке 1 данными.

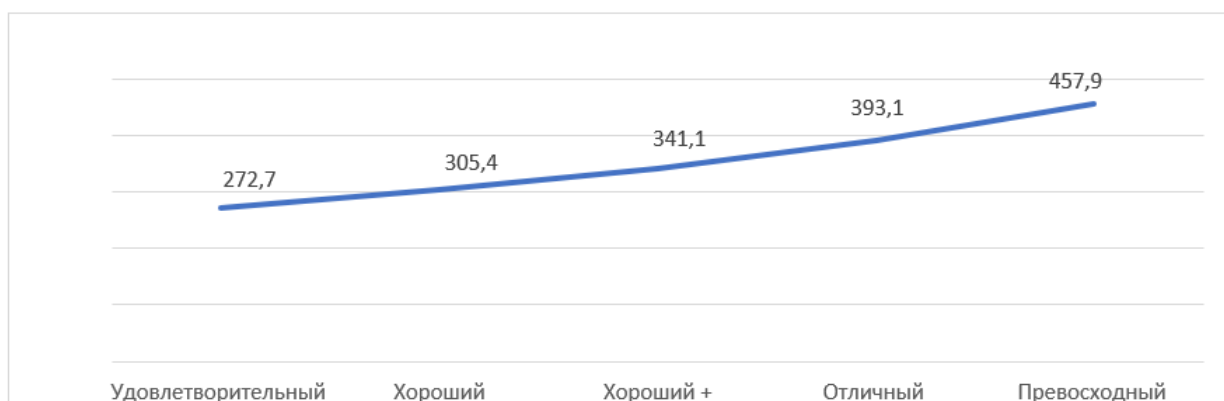


Рис.1. Корреляционная связь живой массы ремонтных бычков с категорией типа телосложения.

[Fig. 1. Correlation between the live weight of replacement bulls and body type category]

Анализ рисунка 1 показывает, что с повышением категории типа телосложения наблюдается общая тенденция к увеличению живой массы животных. Наиболее высокие значения живой массы отмечаются у бычков, отнесенных к более высоким категориям экстерьерной оценки, тогда как животные с более низкой классификационной оценкой характеризуются относительно меньшей живой массой. Таким образом, рисунок наглядно подтверждает установленную ранее тесную положительную взаимосвязь между общим типом телосложения и живой массой ( $r=0,87$ ).

### Обсуждение.

Проведённые в КХ Даурен с применением новых методов линейной оценки типа телосложения ремонтных бычков научно-практически работы показали их эффективность по сравнению с традиционной системой оценки. Традиционный метод основан преимущественно на субъективной экспертной оценке, когда с учётом балльной оценки и соответствующих коэффициентов присваивается общий балл за мясные формы. При этом нет чёткого деления по функциональным группам, что затрудняет принятия решения по улучшению отдельных экстерьерных признаков.

Линейная же оценка типа телосложения позволяет более детально характеризовать каждый признак, объединить отдельные стати в функциональные группы и определить их вклад в развитие общего типа телосложения. Таким образом, при отборе ремонтных бычков по выраженности определённых функциональных групп, появляется возможность исправить те или иные недостатки в последующих поколениях.

Кроме того, при традиционной системе оценки ремонтных бычков животным присваивается общий балл за мясные формы, при этом селекционер не имеет возможности определить, насколько то или иное животное имеет выраженность по отдельным экстерьерным статьям. Тогда как при линейной оценке типа телосложения специалист чётко видит положительные или отрицательные характеристики каждого экстерьерного признака как по отдельному животному, так и по группе в целом.

Исходя из проведённых исследований и установленных средних значений экстерьерных признаков, можно сформулировать некоторые обобщения. В целом у подопытных бычков отмечено хорошее развитие крестца, показатели длины корпуса и широтные промеры имели значения выше среднего уровня, что соответствовало их гармоничному телосложению, достаточному объёму грудной клетки, крепкой конституции, правильно поставленным конечностям и указывало на характерное для мясного скотоводства более раннее развитие мясной продуктивности.

Имеется возможность охарактеризовать ремонтных бычков по результатам балльных оценок по функциональным группам и общему типу телосложения. Исходя из балльных оценок, подопытные животные достаточно хорошо сложены по всем функциональным группам, при этом наибольший балл установлен за конечности.

Общий балл за тип телосложения позволил разделить животных на категории, при этом животных с плохим типом телосложения в исследуемой группе установлено не было, а из 117 подопытных бычков только 4 имели удовлетворительный тип. Остальное поголовье имело категории от хорошего до превосходного типа телосложения. Наибольшее количество ремонтных бычков имели категории «Хороший+». При этом данная система оценки типа телосложения бычков четко указывает конкретных животных с превосходным типом, которых в дальнейшем следует использовать в воспроизводстве. Применение в селекции оценённых по новой методике бычков позволит передавать их положительные качества потомству не только по экстерьерным признакам, но и по живой массе, так как была установлена чёткая взаимосвязь между живой массой и категорией типа телосложения.

### **Заключение.**

На основании проведённой комплексной оценки экстерьера, классификационной характеристики и корреляционного анализа ремонтных бычков хозяйства КХ «Даурен» можно сделать следующие заключения.

Ремонтные бычки хозяйства КХ «Даурен» характеризуются достаточно гармоничным и выровненным развитием основных экстерьерных признаков, что свидетельствует о сформированности у исследуемого поголовья желательного типа телосложения мясного направления. Полученные значения основных линейных промеров указывают на достаточно развитый корпус, хорошее развитие широтных промеров и пропорциональность телосложения. В совокупности данные показатели характеризуют достаточно хорошо развитое туловище и выраженную тазобедренную часть животных.

По результатам балльной оценки экстерьерных признаков большинство показателей находилось на уровне выше среднего. Это свидетельствует о достаточно хорошо выраженных мясных формах и развитии наиболее ценных в мясном отношении частей тела.

Важным результатом исследования является относительно высокая однородность животных по основным линейным промерам. Наименьшая изменчивость установлена по высоте в крестце, длине спины и ширине бедра, что свидетельствует о достаточно выровненном развитии животных по данным признакам. Более высокая вариабельность отмечена по длине таза, ширине груди и ширине за лопатками, однако и эти показатели характеризуются приемлемым уровнем изменчивости. Такая выравненность является положительной характеристикой ремонтного молодняка, поскольку создаёт более однородную основу для последующего селекционного отбора.

Показатели постановки конечностей также отличались высокой стабильностью. Низкие значения коэффициента вариации свидетельствуют о достаточно высокой однородности животных по данным признакам. Правильная постановка конечностей имеет важное значение для мясного скота, поскольку обеспечивает нормальное перемещение животных, устойчивость и функциональную пригодность, а также является одним из условий продолжительного хозяйственного использования племенных производителей.

Классификационная оценка функциональных групп показала, что наиболее высокая средняя оценка была получена по группе «Конечности» – 86,2 балла. Общая оценка типа телосложения составила  $79,3 \pm 0,90$  балла при  $C_v = 12,4 \%$ , что характеризует исследуемое поголовье как достаточно однородное по совокупности основных экстерьерных признаков.

Распределение животных по категориям общего типа телосложения свидетельствует о высоком экстерьерном потенциале ремонтных бычков. Из 117 обследованных животных 96,6 % животных имели тип телосложения от хорошего до превосходного, что указывает на высокий уровень экстерьерного развития ремонтного молодняка. Особое значение имеет то, что 39 бычков или 33,3 % исследованного поголовья были отнесены к категориям «Отличный» и «Превосходный». Данные животные представляют наибольший интерес для дальнейшего селекционного использования при условии подтверждения их высокой племенной ценности по показателям собственной продуктивности, происхождения и другим хозяйственно полезным признакам. Таким образом, классификационная система позволяет не только дать общую характеристику поголовья, но и провести его дифференциацию с целью выделения наиболее перспективных животных.

Проведённый корреляционный анализ выявил тесную положительную связь живой массы с большинством изученных экстерьерных признаков. Это свидетельствует о том, что увеличение размеров корпуса и степени развития мускулатуры сопровождается повышением живой массы животных. При рассмотрении функциональных групп установлено, что наиболее тесная связь с живой массой характерна для группы «Корпус» –  $r=0,84$ , тогда как для группы «Мускулатура» коэффициент корреляции составил  $r=0,74$ . В то же время взаимосвязь живой массы с функциональной группой «Конечности» оказалась слабой –  $r=0,16$ . Это позволяет сделать вывод о том, что размеры корпуса и степень развития мускулатуры в значительно большей степени сопряжены с уровнем живой массы, чем особенности постановки конечностей. Высокий коэффициент корреляции между общим типом телосложения и живой массой ( $r=0,87$ ) дополнительно подтверждает информативность комплексной экстерьерной оценки.

В целом результаты исследования свидетельствуют о том, что комплексная оценка экстерьера является эффективным дополнительным инструментом отбора ремонтных бычков. Сочетание линейных промеров, балльной оценки отдельных статей, классификации функциональных групп и определения общего типа телосложения позволяет более полно охарактеризовать животных и выявить особей, наиболее соответствующих желательному мясному типу.

Проведённые исследования показали, что применение системы линейной оценки племенных бычков с последующей классификацией по типу телосложения позволяет более полно и объективно характеризовать экстерьер животных по сравнению с традиционной балльной оценкой отдельных мясных форм. Предлагаемый подход предусматривает комплексную оценку отдельных экстерьерных признаков с последующим обобщением результатов по функциональным группам – корпусу, мускулатуре и конечностям – и определением интегральной оценки общего типа телосложения. Это обеспечивает большую стандартизацию результатов оценки, повышает их объективность и создаёт возможность для сопоставления животных между отдельными группами и хозяйствами.

Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности внедрения системы линейной классификации экстерьера в практику оценки ремонтных бычков мясных пород при завершении испытаний по собственной продуктивности. Использование данного подхода позволит повысить объективность отбора потенциальных племенных производителей, своевременно выявлять животных с наиболее желательным типом телосложения и исключать из дальнейшего племенного использования менее перспективных особей.

В перспективе применение комплексной экстерьерной оценки в сочетании с показателями живой массы, собственной продуктивности, происхождения и другими селекционно-генетическими характеристиками может способствовать повышению эффективности селекционно-племенной работы, формированию более однородного и высокопродуктивного племенного ядра, ускорению генетического прогресса и повышению мясной продуктивности стад. В более широком масштабе совершенствование методов оценки ремонтного молодняка будет способствовать укреплению племенной базы мясного скотоводства и повышению эффективности производства качественной говядины в Республике Казахстан.

## REFERENCES

- Alders R.G., Campbell A., Costa R., Fallou Guèye E., Ahasanul Hoque Md., Perezgrovas-Garza R. Antonio Rota, Kate Wingett (2021). Livestock across the world: diverse animal species with complex roles in human societies and ecosystem services. *Anim Front.* 11 (5). Pp. 20–29. <https://doi.org/10.1093/af/vfab047>
- Beef Improvement Federation (BIF). (2024). Guidelines for Uniform Beef Improvement Programs. 11th ed. Raleigh. — NC. USA.
- FAO. (2015). The Second Report on the State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture. — Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Krupová Z., Krupa E., Brzákova M., Veselá Z., Malát K. (2025). Beef breeding systems and preferences for breeding objective traits. *Animals* 15. 2175. DOI: 10.3390/ani15152175
- Karymsakov T.N., Strekozov N.I. (2019). Selektionno-geneticheskie parametry ekster'nykh priznakov novogo vnutripородного типа «Ertys» simmental'skoi породы крупного рогатого скота. *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny imeni N.E. Baumana*. Vol. 240 (IV). Pp. 97–101. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-240-4-97-101> [in Russ.].
- Karymsakov T.N. (2019). Fenotipicheskie i geneticheskie pokazateli ekster'nykh priznakov golstinizirovannogo molochного скота Kazakhстана. *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny imeni N.E. Baumana*. Vol. 240 (IV). Pp. 101–105. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-240-4-101-105> [in Russ.].
- Kamprasert N., Duijvesteijn N., van der Werf J. H.J. (2019). Estimation of genetic parameters for BW and body measurements in Brahman cattle. *Animal* 13. 1576–1582. doi: 10.1017/S1751731118003348
- Khan M., Khan M., Waheed A. (2018). Morphological measurements and their heritabilities for Sahiwal cattle in Pakistan. *J. Anim. Plant Sci.* 28, 431–440. [https://psa.pastic.gov.pk/SearchArticleView.aspx?S\\_id=16155&articledetailId=53545&utm\\_source=chatgpt.com](https://psa.pastic.gov.pk/SearchArticleView.aspx?S_id=16155&articledetailId=53545&utm_source=chatgpt.com)
- Karymsakov T.N., Zhumanov K.Zh., Kineev M.A., Abu A.A., Sadybaev U.Zh., Dzhanaeva I.R. (2019). Rekomendatsii i pravila otsenki tipa teloslozheniya bychkov myasnykh porod pri ispytanii ikh po sobstvennoi produktivnosti. — A. 40 p. [in Russ.].

- Ma W., Qi X., Sun Y., Gao R., Ding L., Wang R., et al. (2024). Computer vision-based measurement techniques for livestock body dimension and weight: a review *Agriculture*. 14 (2). P. 306. <https://doi.org/10.3390/agriculture14020306>
- Mazza S. Guzzo N. Sartori C. Berry D.P. Mantovani R. (2014). Genetic parameters for linear type traits in the Rendena dual-purpose breed. *J. Anim. Breed. Genet.* 131. 27–35. doi: 10.1111/jbg.1204
- Gutiérrez-Reinoso M.A., Aponte P.M., García-Herreros M. (2023). Genomic and phenotypic udder evaluation for dairy cattle selection: a review *Animals (Basel)*. 13 (10). P. 1588. <https://doi.org/10.3390/ani13101588>
- Velado-Alonso E., Morales-Castilla I., Gómez-Sal A. (2022). The landscapes of livestock diversity: grazing local breeds as a proxy for domesticated species adaptation to the environment. *Landsc Ecol*. 37 (4). Pp. 1035–1048. <https://doi.org/10.1007/S10980-022-01429-5>
- Simon X. Yang, Yongqi Han, Weihong Ma, Dan Tulpan, Jiawei Li, Junfei Li, Youjun Yue. (2025). Review of computer vision for livestock body conformation assessment. *Agriculture Communications*. Volume 3. Issue 3. <https://doi.org/10.1016/j.agrcom.2025.100099>
- Zindove T.J., Chimonyo M. (2015). Are calving interval, abortions, incidence of stillbirths and pre-weaning losses in Nguni cows associated with linear type traits? *Anim. Reprod. Sci.* 160. 49–56. doi: 10.1016/j.anireprosci.2015.07.002

**Karymsakov Talgat Nikolaevich** — conceptualization, writing and editing of the manuscript.

**Torekhanov Aibyn Adekhanovich** — data curation, conducting experiments, resources.

**Yergali Bekarys Bakdauletuly** — conducting experiments, data collection.

**Atageldiev Damir Dalekhanovich** — conducting experiments, data collection.

**АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ, АГРОХИМИЯ, АЗЫҚ ӨНДІРУ, АГРОЭКОЛОГИЯ  
ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, КОРМОПРОИЗВОДСТВО, АГРОЭКОЛОГИЯ  
AGRICULTURE, AGROCHEMICAL, FEED PRODUCTION, AGROECOLOGY**

RESEARCH, RESULTS – ИЗДЕНИСТЕР, НӘТИЖЕЛЕР – ИССЛЕДОВАНИЯ, РЕЗУЛЬТАТЫ

ISSN 2304-3334 (print)

Vol. 28. Is. 4. Number 112 (2026). Pp. 63–73

Journal homepage: <https://journal.kaznaru.edu.kz><https://doi.org/10.37884/4-2026/05>

IRSTI / FTAXP / МРНТИ / 87.21.05

**Zh. Abilda<sup>1</sup>, Z. Sapakhova<sup>1,2</sup>, I. Isgandarov<sup>1,3</sup>, I. Klein<sup>4</sup>, M. Shamekova<sup>1\*</sup>**<sup>1</sup>Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan;<sup>2</sup>Tanir Research Laboratory, Almaty, Kazakhstan;<sup>3</sup>Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Almaty, Kazakhstan;<sup>4</sup>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Oberpfaffenhofen, Germany.E-mail: [shamekov@gmail.com](mailto:shamekov@gmail.com)**THE USE OF COMPUTATIONAL METHODS FOR MODELING WATER-SOIL EROSION: THE  
CASE OF UST-KAMENOGORSK****Abilda Zhanar Kasymkhankyzy**, PhD Student, Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, KazakhstanE-mail: [zemaletta@gmail.com](mailto:zemaletta@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8505-5243>;**Sapakhova Zagipa Beisenovna**, PhD, Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan; Tanir Research Laboratory, Almaty, KazakhstanE-mail: [z.sapakhova@ipbb.kz](mailto:z.sapakhova@ipbb.kz), <https://orcid.org/0000-0002-8007-5066>;**Isgandarov Iskander**, Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan; Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Almaty, KazakhstanE-mail: [alexelite555@gmail.com](mailto:alexelite555@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0001-4386-3303>;**Dr. Igor Klein**, Research Scientist, Earth Observation Center (EOC), German Aerospace Center (DLR), Oberpfaffenhofen, GermanyE-mail: [igor.klein@dlr.de](mailto:igor.klein@dlr.de), <https://orcid.org/0000-0003-0113-8637>;**Shamekova Malika Khabidullaevna**, PhD, Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, KazakhstanE-mail: [shamekov@gmail.com](mailto:shamekov@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-8746-7484>.

**Abstract. Introduction.** In urban and industrial landscapes, soil degradation directly affects the quality of agricultural land, ecosystem sustainability, and infrastructure. Therefore, mapping soil erosion and quantitatively assessing its intensity are important components of land resource management. Soil erosion is one of the major environmental processes leading to land degradation in urbanized and industrial areas. This paper examines the spatial distribution and intensity of soil erosion within the territory of Ust-Kamenogorsk, East Kazakhstan. **Objective.** To assess the spatial patterns and intensity levels of soil erosion in Ust-Kamenogorsk using the RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) model. **Materials and Methods.** 1) calculation of R, K, LS, C, and P factors based on remote sensing and open spatial data; 2) modeling of average annual soil loss for 2014 and 2024; 3) analysis of the spatial distribution of soil erosion categories (0–75, 75–150, 150–225, 225–300, and  $\geq 300$  t/ha/year); 4) assessment of temporal changes in erosion processes and identification of erosion-prone areas. **Results and Discussion.** The modeling results showed the predominance of low soil erosion rates: the proportion of areas belonging to the 0–75 t/ha/year category was 68 % in 2014 and 64 % in 2024. Significant changes were observed in the medium and high erosion categories: the share of the 75–150 t/ha/year category slightly decreased (from 19 % to 18 %), whereas the 150–225 t/ha/year and 225–300 t/ha/year categories increased from 6 % to 7 % and from 3 % to 4 %, respectively. The most significant changes were observed in high-risk erosion zones: the proportion of areas with soil losses  $\geq 150$  t/ha/year increased from 13

% in 2014 to 18 % in 2024, while the highest category ( $\geq 300$  t/ha/year) increased from 3 % to 7 %. *Conclusion.* The obtained results indicate that low erosion classes still dominate within the territory of Ust-Kamenogorsk; however, there is a trend toward the expansion of areas with high soil losses. This highlights the need to strengthen soil conservation measures in erosion-prone sloping areas. The study confirms the effectiveness of the RUSLE model for assessing spatial changes in soil erosion and demonstrates its applicability for land resource management and the planning of erosion control measures.

**Keywords:** soil erosion, predictive models, RUSLE, East Kazakhstan Region, QGIS

**For citation:** Abilda Zh., Sapakhova Z., Isgandarov I., Klein I., Shamekova M. (2026). The use of computational methods for modeling water-soil erosion: the case of Ust-Kamenogorsk // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 63–73. <https://doi.org/10.37884/4-2026/05> [In Eng.].

**Conflict of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgements:** *This study was supported by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Program BR24992837).*

**Ж. Әбілда<sup>1</sup>, З. Сапахова<sup>1,2</sup>, И. Исғандаров<sup>1,3</sup>, И. Кляйн<sup>4</sup>, М. Шамекова<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты, Алматы, Қазақстан;

<sup>2</sup>Tanir Research Laboratory, Алматы, Қазақстан;

<sup>3</sup>С.Ж. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университеті, Алматы, Қазақстан;

<sup>4</sup>Германиялық авиация және космонавтика орталығы, Оберпфaffenхофен, Германия.

E-mail. shamekov@gmail.com

## ӨСКЕМЕН ҚАЛАСЫ МЫСАЛЫНДА СУ ТОПЫРАҚ ЭРОЗИЯСЫН МОДЕЛЬДЕУДІҢ ЕСЕПТІК ӘДІСТЕМЕЛЕРІН ҚОЛДАНУ

**Әбілда Жанар Қасымханқызы**, PhD докторанты, Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты, Алматы, Қазақстан

E-mail: zemaletta@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8505-5243>;

**Сапахова Зағипа Бейсеновна**, PhD, Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты, Алматы, Қазақстан. Tanir Research Laboratory, Алматы, Қазақстан

E-mail: z.sapakhova@ipbb.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8007-5066>;

**Исғандаров Искандер**, Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты, Алматы, Қазақстан; С.Ж. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университеті, Алматы қ.,

E-mail: alexelite555@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-4386-3303>;

**Кляйн Игорь**, PhD, PhD, ғылыми қызметкер, Жерді бақылау орталығы (Earth Observation Center, EOC), Германиялық авиация және космонавтика орталығы (DLR), Оберпфaffenхофен, Германия.

E-mail: igor.klein@dlr.de, <https://orcid.org/0000-0003-0113-8637>;

**Шамекова Малика Хабидуллаевна**, PhD, Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты, Алматы, Қазақстан

E-mail: shamekov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8746-7484>.

**Аннотация.** *Kipicne.* Урбандық және өнеркәсіптік ландшафттарда топырақтың деградациясы ауыл шаруашылығы жерлерінің сапасына, экожүйелердің тұрақтылығына және инфрақұрылымға тікелей әсер етеді. Осыған байланысты топырақ эрозиясын картаға түсіру және оның қарқындылығын сандық бағалау жер ресурстарын басқарудың маңызды бөлігі болып табылады. Топырақ эрозиясы урбандалған және өнеркәсіптік аумақтарда жер ресурстарының деградациясына әкелетін негізгі экологиялық процестердің бірі болып табылады. Бұл мақалада Шығыс Қазақстандағы Өскемен қаласының аумағында топырақ эрозиясының кеңістіктік таралуы мен қарқындылығы қарастырылды. *Мақсаты.* Өскемен қаласы аумағында RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) моделін қолдану арқылы топырақ эрозиясының кеңістіктік үлгілерін және қарқын деңгейлерін бағалау. *Материалдар мен әдістер.* 1) R, K, LS, C және P факторларын қашықтықтан зондтау және ашық кеңістіктік деректер негізінде есептеу; 2) 2014 және 2024 жылдар үшін орташа жылдық топырақ жоғалуын модельдеу; 3) топырақ эрозиясы санаттарының (0–75, 75–150, 150–225, 225–300 және  $\geq 300$  т/га/жыл) кеңістіктік таралуын талдау; 4) эрозиялық процестердің уақыт бойынша өзгерісін

бағалау және эрозияға бейім аймақтарды айқындау. *Нәтижелер мен талқылау.* Модельдеу нәтижелері топырақ эрозиясының төмен қарқындары басым екенін көрсетті: 0–75 т/га/жыл санатына жататын аумақтардың үлесі 2014 жылы 68 %, ал 2024 жылы 64 % болды. Орташа және жоғары эрозия қарқындарының үлесінде айтарлықтай өзгерістер байқалды: 75–150 т/га/жыл санатының үлесі сәл төмендесе (19 %-дан 18 %-ға дейін), 150–225 т/га/жыл және 225–300 т/га/жыл санаттарында сәйкесінше 6 %-дан 7 %-ға және 3 %-дан 4 %-ға дейін өсім тіркелді. Ең маңызды өзгерістер жоғары эрозиялық қауіпті аймақтарда байқалды:  $\geq 150$  т/га/жыл деңгейіндегі топырақ жоғалту үлесі 2014 жылғы 13 %-дан 2024 жылы 18 %-ға дейін артты, ал ең жоғары санат ( $\geq 300$  т/га/жыл) 3 %-дан 7 %-ға дейін ұлғайды. *Қорытынды.* Алынған нәтижелер Өскемен қаласы аумағында жалпы төмен эрозиялық сыныптардың басымдығы сақталғанымен, жоғары топырақ жоғалту санаттарының кеңею үрдісі жүріп жатқанын көрсетті. Бұл эрозияға бейім еңісті аймақтарда топырақты қорғау шараларын күшейту қажеттігін айқындайды. Зерттеу RUSLE мо-делінің топырақ эрозиясының кеңістіктік өзгерістерін бағалауда тиімді құрал екенін және оны жер ресурстарын басқару мен эрозияға қарсы шараларды жоспарлауда қолдануға болатынын дәлелдейді.

**Түйін сөздер:** топырақ эрозиясы, предиктивті модельдер, RUSLE, Шығыс Қазақстан облысы, QGIS

**Дәйексөз үшін:** Әбілда Ж., Сапахова З., Исгандаров И., Кляйн И., Шамекова М. (2026). Өскемен қаласы мысалында су топырақ эрозиясын модельдеудің есептік әдістемелерін қолдану // Research, results – Изденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 63–73. <https://doi.org/10.37884/4-2026/05> [In Eng.].

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

**Алғыс сөз:** Осы зерттеу Қазақстан Республикасы ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен (бағдарлама BR24992837) жүзеге асырылды.

**Ж. Абилда<sup>1</sup>, З. Сапахова<sup>1,2</sup>, И. Исгандаров<sup>1,3</sup>, И. Кляйн<sup>4</sup>, М. Шамекова<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Институт биологии и биотехнологии растений, Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>Tanir Research Laboratory, Алматы, Казахстан;

<sup>3</sup>Казахский национальный медицинский университет имени С.Д. Асфендиярова, Алматы, Казахстан;

<sup>4</sup>Германский центр авиации и космонавтики, Оберпфaffenхофен, Германия.  
E-mail: shamekov@gmail.com

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДИК МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОДНОЙ ПОЧВЕННОЙ ЭРОЗИИ НА ПРИМЕРЕ Г. УСТЬ-КАМЕНОГОРСК

**Абилда Жанар Касымхановна**, PhD докторант, Институт биологии и биотехнологии растений, Алматы, Казахстан

E-mail: zemaletta@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8505-5243>;

**Сапахова Загиа Бейсеновна**, PhD, Институт биологии и биотехнологии растений, Алматы, Казахстан; Tanir Research Laboratory, Алматы, Казахстан

E-mail: z.sapakhova@ipbb.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8007-5066>;

**Исгандаров Искандер**, Институт биологии и биотехнологии растений, Алматы, Казахстан; Казахский национальный медицинский университет имени С.Д. Асфендиярова, Алматы, Казахстан

E-mail: alexelite555@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-4386-3303>;

**Кляйн Игорь**, PhD, научный сотрудник, Центр наблюдения Земли (Earth Observation Center, EOC), Германский центр авиации и космонавтики (DLR), Оберпфaffenхофен, Германия

E-mail: igor.klein@dlr.de, <https://orcid.org/0000-0003-0113-8637>;

**Шамекова Малика Хабидуллаевна**, PhD, Институт биологии и биотехнологии растений, Алматы, Казахстан

E-mail: shamekov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8746-7484>.

**Аннотация. Введение.** В урбанизированных и промышленных ландшафтах деградация почв оказывает непосредственное влияние на качество сельскохозяйственных земель, устойчивость экоси-

стем и инфраструктуру. В связи с этим картографирование почвенной эрозии и количественная оценка её интенсивности являются важной частью управления земельными ресурсами. Почвенная эрозия является одним из основных экологических процессов, приводящих к деградации земельных ресурсов на урбанизированных и промышленных территориях. В данной статье рассмотрены пространственное распределение и интенсивность почвенной эрозии на территории города Усть-Каменогорск Восточного Казахстана. *Цель.* Оценить пространственные закономерности и уровни интенсивности почвенной эрозии на территории города Усть-Каменогорск с использованием модели RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation). *Материалы и методы.* 1) расчёт факторов R, K, LS, C и P на основе данных дистанционного зондирования и открытых пространственных данных; 2) моделирование среднегодовых потерь почвы за 2014 и 2024 годы; 3) анализ пространственного распределения категорий почвенной эрозии (0–75, 75–150, 150–225, 225–300 и  $\geq 300$  т/га/год); 4) оценка временных изменений эрозионных процессов и выявление эрозионно-опасных территорий. *Результаты и обсуждение.* Результаты моделирования показали преобладание низких уровней почвенной эрозии: доля территорий, относящихся к категории 0–75 т/га/год, составила 68 % в 2014 году и 64 % в 2024 году. Существенные изменения наблюдались в категориях средней и высокой эрозии: доля категории 75–150 т/га/год незначительно снизилась (с 19 % до 18 %), тогда как в категориях 150–225 т/га/год и 225–300 т/га/год был зафиксирован рост соответственно с 6 % до 7 % и с 3 % до 4 %. Наиболее значительные изменения отмечены в зонах высокого эрозионного риска: доля территорий с потерями почвы  $\geq 150$  т/га/год увеличилась с 13 % в 2014 году до 18 % в 2024 году, а доля наивысшей категории ( $\geq 300$  т/га/год) возросла с 3 % до 7 %. *Заключение.* Полученные результаты показали, что на территории города Усть-Каменогорска сохраняется преобладание низких эрозионных классов, однако наблюдается тенденция к расширению зон с высокими потерями почвы. Это указывает на необходимость усиления почвозащитных мероприятий на эрозионно-опасных склонах. Исследование подтверждает эффективность модели RUSLE для оценки пространственных изменений почвенной эрозии и возможность её применения при управлении земельными ресурсами и планировании противоэрозионных мероприятий.

**Ключевые слова:** почвенная эрозия, предиктивные модели, RUSLE, Восточно-Казахстанская область, QGIS

**Для цитирования:** Абилда Ж., Сапахова З., Исгандаров И., Кляйн И., Шамекова М. (2026). Использование расчетных методик моделирования водной почвенной эрозии на примере г. Усть-Каменогорск // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 63–73. <https://doi.org/10.37884/4-2026/05> [In Eng.].

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Благодарности:** Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (программа BR24992837).

## Introduction.

Controlling soil erosion is one of the key tasks in contemporary land management and environmental protection, because soil degradation directly affects agricultural productivity, ecosystem stability, and food security. Erosive processes driven by natural factors (rainfall, wind, topography) and human activities (inappropriate farming practices, deforestation, overgrazing) lead to declining soil fertility, loss of the humus layer, and deterioration of physical and chemical soil properties. As a result, the need for systematic monitoring of soil conditions is growing, enabling timely identification of erosion-prone areas and assessment of the intensity of ongoing processes.

The consequences of these processes are not limited to agriculture: in eroded areas landforms are altered, siltation of rivers and reservoirs increases, and hazards to infrastructure (roads, bridges, engineering networks) become more pronounced. Along with fine soil particles, nutrients, pesticide residues, and heavy metals are transported, contaminating downstream lowlands and aquatic systems. This, on the one hand, reduces crop yields on arable land and, on the other hand, undermines water and food security. Therefore, soil erosion must be considered as a multifactor process affecting natural and production systems, and its management requires an integrated approach.

In Kazakhstan, soil erosion and degradation are among the most widespread environmental problems. Approximately 70–90 million hectares of the country's territory are affected to varying degrees by erosion and degradation processes, which reduce the productivity of agricultural lands and threaten the stability of natural

ecosystems. The main types of soil erosion are wind and water erosion, which are particularly severe in arid and semi-arid regions and in areas with high anthropogenic pressure (intensive tillage, overgrazing, reduction of forest cover) [Zhumadilova, 2017].

The spatial structure of erosive processes in Kazakhstan is also linked to historical land-use patterns. During the Soviet period, the sharp expansion of cultivated land, large-scale development of virgin and fallow lands, and reduction of forest and shrub areas weakened soil structural stability in many regions. Extensive, uniform ploughing and insufficient shelterbelts to protect soils from wind contributed to intensifying wind erosion, whereas in irrigated farming areas, water and irrigation erosion became dominant issues. Currently, increasing aridity of the climate, more frequent extreme weather events, and ongoing changes in agricultural systems are further reinforcing these trends, making it necessary to reassess the effectiveness of anti-erosion measures.

The soil cover of Kazakhstan follows a latitudinal zonal pattern: in the lowland part of the country, three to four major zones are distinguished (chernozem, dark chestnut, chestnut, and light chestnut soils), while in the mountainous areas soil types such as mountain-forest, mountain-steppe, and meadow soils develop in accordance with altitudinal belts. Under such diverse soil-climatic conditions, erosion processes manifest differently: in northern chernozem regions water erosion is more common, whereas in southern chestnut and light chestnut soils wind erosion and deflation prevail [Sikhanova et al., 2025].

Around Oskemen, in addition to grey-brown and chestnut soils, mountain-steppe and meadow-alluvial soil types occur in foothill and mountain belts. In areas where these soils have light texture and weak structural stability, water and wind erosion can intensify, resulting in gully formation on slopes and enhanced deflation on open surfaces. Thus, studying soil erosion and contamination processes in and around Oskemen city is particularly relevant for ensuring regional environmental safety and rational use of land resources [Kydyrkhanova, 2024].

A distinctive feature of Oskemen is the overlap between soil erosion and chemical contamination processes. Mechanical erosion of soils contaminated by heavy metals accelerates their spatial redistribution and may extend contamination beyond industrial sites into surrounding areas.

Modern monitoring approaches combine remote sensing, geographic information systems, and field investigations, providing an integrated framework for analysing and predicting erosion phenomena. The resulting data form the basis for developing effective measures to prevent land degradation, such as soil conservation technologies, rational land-use practices, and rehabilitation of disturbed areas. In this way, soil erosion control becomes an essential tool for land-resource management and for reducing environmental risks.

To study erosive processes effectively, it is important to build monitoring systems capable of processing large volumes of data, to establish a unified scientific-information space, and to develop geographic information systems (GIS) as a universal tool for this purpose [Baigazakova et al., 2025]. Қашықтықтан зондтау деректері мен ГАЗ технологиялары топырақ эрозиясын зерттеуде бірқатар артықшылықтарға ие. Біріншіден, олар кең аумақтарды қамтитын бірыңғай деректер жиынтығын береді, бұл аймақтық және ұлттық деңгейде салыстырмалы талдау жүргізуге мүмкіндік береді. Екіншіден, көпжылдық спутниктік уақыттық қатарлар арқылы эрозиялық процестердің динамикасын, өсімдік жамылғысының өзгеруін және жер пайдалану құрылымындағы трансформацияларды бақылауға болады.

Remote sensing data and GIS technologies provide several advantages for soil erosion research. First, they offer a consistent data set covering large territories, which enables comparative analysis at regional and national scales. Second, multi-year satellite time series make it possible to monitor the dynamics of erosion processes, changes in vegetation cover, and transformations in land-use structure.

In recent years, digital soil mapping and digital elevation models (DEM) have been increasingly used to generate erosion-risk maps. Compared with traditional cartographic methods, this approach allows physical soil properties, climatic parameters, vegetation cover, and topographic features to be integrated within a single model. As a result, a predicted soil-loss value can be obtained for each pixel, and the erosive potential of the land surface can be described in detail in spatial terms. Based on such models, average erosion levels can be calculated for administrative units, catchment basins, or land-use categories, providing aggregated indicators needed for management decisions.

One of the most effective tools for modelling and quantifying soil erosion is the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) model, which integrates remote sensing data and GIS [X. Gao et al., 2024; Philippe & Benahmed, 2025; Yin et al., 2025] Northwest Guizhou, as the study area. To quantitatively analyze

the human and natural impacts on soil erosion in this area, this paper evaluated the anthropogenic and natural soil erosion based on the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). RUSLE is widely applied because it accounts for multiple factors controlling erosion processes, including the rainfall erosivity factor, soil erodibility factor, slope length factor, slope steepness factor, and conservation practice factor [FAO, 2018]. This model is extensively used in climate change studies [Gezici et al., 2025; Kaliyeva et al., 2025; Liu et al., 2024; Tullu, 2024; Weng et al., 2023]. Although RUSLE has been widely used to assess soil erosion, its integration with analyses of heavy metal spatial distribution remains limited, underscoring the need to better understand the role of erosion-related factors in metal redistribution [Xia et al., 2025; Xu et al., 2024]. Many studies focus on heavy-metal transport and distribution within catchments [Rendana et al., 2022; Zhang et al., 2021] or on the movement of potentially toxic elements driven by soil erosion estimated using RUSLE [Gao et al., 2021].

Increasing erosion rates are not confined to physical soil loss alone. Thinning of the humus layer, breakdown of soil structure, and reductions in cation-exchange capacity and waterholding ability directly affect crop productivity, the recovery potential of vegetation cover, and overall ecosystem functioning. In arable, pasture, and forest/shrub areas around Oskemen, eroded soils have reduced infiltration capacity, hindering efficient use of water resources during spring and autumn runoff periods.

At the same time, engineering infrastructure within the city and its surroundings is also affected by erosion processes. On steep slopes, problems such as undercutting of road subgrades, infilling of drainage structures (ditches, channels, culverts) with sediments, and decreasing stability of utility networks may arise. If these processes are not controlled in time, repair costs increase and the reliability of transport and utility systems declines. Consequently, soil erosion should not be viewed solely as an agroecological problem, but also in terms of urban infrastructure safety and economic losses.

### **Materials and Methods.**

The study area is located within the city of Oskemen in East Kazakhstan Region. The total area of the city is 592 km<sup>2</sup>. According to data from Kazakhstan's National Hydrometeorological Service "Kazhydromet" [<https://www.kazhydromet.kz/>], the long-term mean annual precipitation in the region is approximately 239 mm.

First, a digital elevation model (DEM) of the study area was obtained from the Copernicus Data Space Ecosystem (<https://browser.dataspace.copernicus.eu>). The GLO-30 global DEM product (spatial resolution 30 m) derived from Copernicus elevation data was used to describe topographic variability in the study area. In addition, soil property data were taken from the SoilGrids 2.0 global soil information system (<https://soilgrids.org>), which provides standardized soil property maps at 250 m resolution. This dataset is generated from large-scale soil observations worldwide using machine-learning models.

Monthly precipitation data were obtained from the Climate Data Store (<https://cds.climate.copernicus.eu>) with a spatial resolution of 31 km. NDVI was extracted from composite products provided by the United States Geological Survey (USGS).

The analysis comprised several steps. First, precipitation data from the ERA5 reanalysis dataset were used to calculate the rainfall erosivity (R) factor based on the Modified Fournier Index (MFI). Second, soil properties including sand, silt and clay fractions and organic carbon content were extracted from SoilGrids 2.0 and used to compute the soil erodibility (K) factor. Third, topographic factors were derived from a DEM obtained from Sentinel-1 data. Flow direction, flow accumulation, and slope angle were calculated from the DEM and used to determine the slope length and steepness (LS) factor and to assign the support practice (P) factor according to slope classes. Finally, vegetation cover was assessed using NDVI from the USGS eVIIRS NDVI Global dataset, and NDVI values for 2014 and 2024 were used to compute the cover management (C) factor.

The data sources and spatial resolutions applied in this study also impose certain limitations on the interpretation of model results. While global products such as ERA5, SoilGrids, and GLO-30 DEM provide sufficient accuracy at regional scale, they may not fully capture fine-scale morphological features and small variations in soil properties at local scale. Therefore, soil-loss values derived from the RUSLE model were treated as relative and indicative, and additional local field measurements may be required for detailed assessment of specific sites.

Moreover, modelling in urban and industrial areas needs to account for both "natural" surfaces and anthropogenic structures. For pixels corresponding to hard surfaces (roads, industrial platforms), care must be

taken when interpreting erosion factors, since classical soil loss is not the main process there; instead, patterns of flow diversion and sediment deposition become more important. Consequently, in this study urban and natural/agricultural surfaces were reclassified, and appropriate C and P factors were assigned to each category.

The outputs of the RUSLE model were then used in subsequent spatial analyses, in particular for mapping areas most susceptible to erosion and comparing them with spatial distribution maps of heavy metals. This approach allows potential linkages between soil erosion and pollutant migration to be identified. Thus, the data and methods described in the “Study area and methods” section form the basis for the spatial-temporal analysis presented in later sections and define both the scope and limitations of the model.

All spatial processing and raster calculations were performed using QGIS. Soil erosion was estimated using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) [Renard & Freimund, 1994]:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

where  $A$  is the mean annual soil loss ( $\text{t/ha} \cdot \text{year}^{-1}$ ),  $R$  is the rainfall erosivity factor ( $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ ),  $K$  is the soil erodibility factor ( $\text{t} \cdot \text{ha} \cdot \text{h} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ),  $LS$  is the topographic factor (slope length and steepness),  $C$  is the cover management factor, and  $P$  is the support practice factor represented here as a proxy based on slope class.

Raster layers representing soil erosion for 2014 and 2024 were analysed in QGIS. Each raster pixel corresponded to a spatial resolution of 300 m ( $90\,000 \text{ m}^2$  per pixel). Joint analysis of the  $R$ ,  $K$ ,  $LS$ ,  $C$ , and  $P$  factors allows the spatial pattern of soil erosion to be understood in greater depth. Considered individually, these factors reveal only certain tendencies, whereas their combination highlights the specific locations where conditions favour increased soil loss. For example, areas with high  $R$  but moderate  $LS$  and relatively low  $K$  may experience only moderate erosion, while at the same  $R$  level, high  $LS$  and high  $K$  can lead to soil loss rates several times greater. Therefore, assessment of erosion risk must account for the integrated effect of all factors rather than any single factor alone.

In our case, elevated  $R$  values combined with high  $LS$  in the southern foothill zones indicate that these areas require particular attention. If these zones also show high  $C$  values (i.e., insufficient or degraded vegetation cover) and  $P$  factors in the range 0.7–0.9, the resulting  $A$  values ( $\text{t/ha} \cdot \text{year}^{-1}$ ) in the RUSLE equation logically fall into the highest classes. These conclusions are not only model outputs but also important for practical planning: sites with this combination of factors should be prioritized for soil protection and reclamation measures.

Soil-loss values were grouped into five classes: 0–75, 75–150, 150–225, 225–300, and  $>300 \text{ t/ha} \cdot \text{year}^{-1}$ . Although the RUSLE model is empirical, its simple structure and clear physical meaning of each factor facilitate adaptation to different regions. Nevertheless, its limitations must be acknowledged: the model was originally developed for croplands and open slopes, and applying it in urban and complex multi-component landscapes requires additional adjustments. For instance, hard surfaces (asphalt, concrete), technogenic dumps, and engineering structures do not fit directly into the classical RUSLE scheme but can significantly influence actual erosion behaviour in urban environments. Therefore, when using RUSLE in city settings, slope classes, cover types, and land-use categories must be carefully reclassified.

At the same time, separate analysis of individual factors ( $R$ ,  $K$ ,  $LS$ ,  $C$ ,  $P$ ) helps interpret model results in ecological and management terms. High  $R$  values point to intense, high-energy rainfall and a climate prone to water erosion; high  $K$  values reflect weak soil structure and sensitivity to mechanical disturbance; high  $LS$  values are typical of slopes with steep gradients and concentrated flow. The  $C$  factor describes the protective role of vegetation cover, evaluated via NDVI, while the  $P$  factor represents land-use practices that either mitigate or enhance erosion. By integrating these factors, RUSLE not only estimates overall erosion intensity but also reveals which factors dominate in each area. Such information is crucial for planning land-use policy, agronomic measures, and engineering protection structures.

The data and methods used in this study have inherent limitations that must be considered when interpreting the results. First,  $K$  and some other factors are derived from global models such as SoilGrids rather than direct field measurements, and therefore carry a degree of uncertainty. Second, RUSLE is primarily designed for agricultural and tilled lands; for urban and industrial landscapes, model parameters need to be carefully adapted. Third, due to limited information on actual conservation practices, the  $P$  factor was used as a proxy based on slope classes, which may not fully reflect the true impact of soil-protection measures in

some locations.

Despite these constraints, the results are sufficiently robust for assessing erosion processes and identifying high-risk areas at regional scale. They can be regarded as a baseline spatial dataset for future field investigations and for the development of higher-precision models.

### Results and discussion.

In this study, the soil erodibility factor (K) ranged from 0 t/ha·GJ/MJ·mm to 0.5 t/ha·GJ/MJ·mm, with a mean value of 0.36 t/ha·GJ/MJ·mm. The spatial variability of the K factor reflects differences in soil structural fractions and organic carbon content derived from the SoilGrids dataset, which represents modelled, rather than locally measured, soil properties. Low K values indicate soils that are relatively less prone to erosion according to the model, whereas high values point to areas where soil particles are more easily detached and transported by runoff.

The mountainous relief and river system in the southern part of the city are characterized by sandstones and limestones, indicating the presence of carbonate parent materials in this area [Chlachula, 2020]. Such geological conditions influence soil texture, hydraulic properties, and structural stability, and thus control susceptibility to erosion. In zones dominated by carbonate rocks, soils may sometimes exhibit well-aggregated structure and certain resistance to water erosion, while in other cases they may be highly friable and prone to mass wasting. Therefore, when interpreting the spatial pattern of the K factor, it is important to consider not only textural composition but also the underlying lithology.

The slope length and steepness factor (LS) varied between 0 and 8.5. Its spatial distribution shows that, in most of the study area, the topographic contribution to erosion is relatively low. Approximately 85 % of the area has LS values below 1, and 14 % falls within the 1–3 class. High LS values are rare: only 1.1 % of the area shows LS between 3 and 5, and just 0.01 % exceeds 5. These elevated LS values are mainly concentrated in the southern mountainous part of Ust-Kamenogorsk, indicating steep slopes and substantial flow accumulation in that sector.

This LS pattern directly affects soil-loss rates, because increasing slope length and steepness enhances gravitational forces and the energy of surface runoff. As a result, in areas with high LS values, water flow more readily detaches soil particles and promotes the formation of gullies, rills, and erosion networks. Conversely, in zones with low LS, runoff energy is insufficient to cause significant soil loss. These findings suggest that erosion control measures—especially engineering and agronomic interventions—should be prioritized on sites with high LS values.

The proxy factor for slope class (P) ranged from 0 to 0.9, with relatively high values recorded across much of the study area. In the absence of direct information on soil conservation practices, the P factor was derived as a proxy from slope classes. Thus, in this study, high P values primarily reflect steep slopes in the adopted classification scheme and do not provide direct evidence of the presence or absence of specific conservation measures. Nevertheless, this use of P is sufficient for estimating potential soil-loss levels, and the factor can be refined if detailed data on agronomic or engineering practices become available.

The spatial pattern of P shows that areas with steep slope gradients are also zones of elevated potential erosion risk. If no measures such as terracing, contour ploughing, shelterbelts, or other protective interventions are implemented in these locations, the combined effect of high LS and P will substantially increase soil-loss values in the RUSLE model. Therefore, future land-use planning efforts should pay special attention to sectors where both P and LS are high.

Rainfall erosivity (R) values in 2024 covered a wider range than in 2014: from 1714–2808 they expanded to 1649–3842, while mean values remained similar (2404 and 2398, respectively). In 2014, higher R values were concentrated mainly in the northern and northeastern parts of the study polygon, whereas in 2024 they became more pronounced in the eastern and northeastern sectors (Figure 1). This shift suggests a spatial redistribution of rainfall patterns and possibly certain changes in the regional climatic regime.

The expansion of high R values introduces additional erosion risk, as greater rainfall energy and frequency intensify water-erosion processes. Short, intense storms are particularly critical, because they can exert strong erosive forces on the soil surface and trigger gully and incision formation. In this context, it is essential to analyse spatial changes in the R factor together with LS and K, since not only areas with high rainfall intensity but also locations with weak soils and steep slopes belong to the most vulnerable zones.

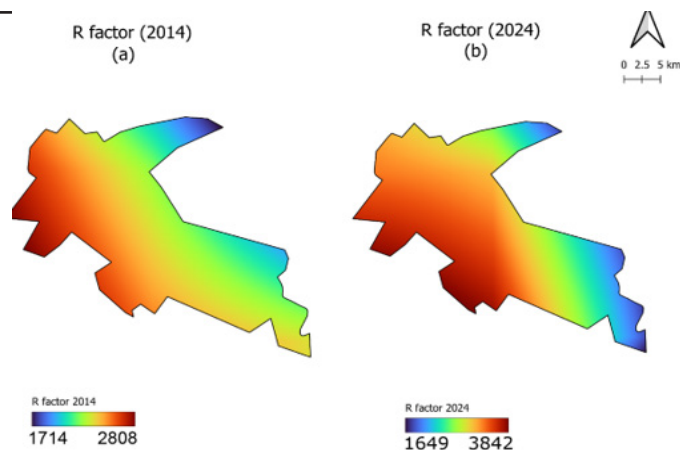


Fig. 1. Rainfall erosivity factor (R) based on ERA5 for 2014 (a) and 2024 (b).

C values ranged from 0.3 to 0.65 and showed notable spatial variability across the study area. In contrast, the 2024 map revealed a clear shift towards higher C-factor values, and values below 0.3 were not displayed because their areal extent was negligible.

In 2014, the C factor was predominantly in the medium range (0.3–0.5), accounting for 82 % of the study area, while high values (0.5–0.65) covered 17 % and low values ( $<0.3$ ) only 0.6 %. Conversely, in 2024 the spatial distribution shifted markedly towards higher C-factor values: 95 % of the area fell within 0.5–0.65, medium values decreased to 5 %, and low values almost disappeared (0.03 %).

In 2024, high C-factor values dominated most of the study area, indicating an overall increase compared with 2014, when medium values were widespread. The rise in the C factor may be linked to changes in vegetation cover characteristics, intensification of land use, or differences in the input data used to compute NDVI.

In classical interpretation, high C-factor values indicate a reduced protective role of vegetation cover, meaning that the soil surface is more exposed and less shielded. Under such conditions, rainfall and runoff can more easily detach and transport soil particles. If cropping or grazing pressure has increased in the study area, changes in the C factor may serve as an indicator of this anthropogenic influence. Therefore, comparing the C-factor map with land-cover and NDVI maps can help identify processes associated with vegetation degradation.

The spatial distribution of soil loss in both study years showed a clear predominance of low erosion rates (Figure 2, Table 1). In 2014, most of the area (68 %) was characterized by very low soil loss (0–75), while intermediate erosion classes (75–150) accounted for 19 %. High erosion rates ( $\geq 150$ ) were limited, covering roughly 13 % of the total area.

A similar pattern was observed in 2024: low erosion (0–75) still predominated (64 %). However, a noticeable shift towards higher erosion classes was detected. The proportion of areas with soil loss  $\geq 150$  increased from 13 % in 2014 to 18 % in 2024, with the most pronounced change in the highest category ( $\geq 300$ ), which more than doubled from 3 % to 7 %. These changes indicate that, although the overall background level of erosion remains relatively low, soil loss is intensifying at specific sites within the study area.

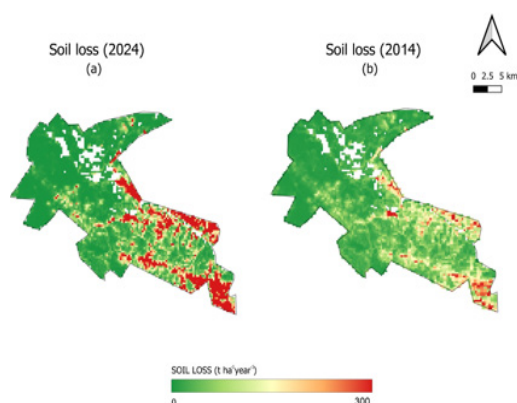


Fig. 2. Soil loss (a) for 2024 (a) and 2014 (b) according to the RUSLE model

Table 1. Proportional distribution of soil loss categories within the territory of Oskemen city

| Soil loss, $t \cdot ha^{-1} \cdot year^{-1}$ | Erosion level      | 2014, % | 2024, % |
|----------------------------------------------|--------------------|---------|---------|
| 0–75                                         | Very low           | 68      | 64      |
| 75–150                                       | Moderate           | 19      | 18      |
| $\geq 150$                                   | High and very high | 13      | 18      |
| $\geq 300$                                   | Very high          | 3       | 7       |

### Conclusion.

Overall, the results indicate that erosion intensity increased between 2014 and 2024, even though low-erosion classes still dominate. This trend is reflected in the expansion of high soil-loss categories and shows that relief-driven processes are playing a growing role in erosion-prone areas.

Soil erosion modelling based on the RUSLE approach demonstrated that low erosion rates prevail in the study area; however, the proportion of zones with high soil loss ( $\geq 150 t \cdot ha^{-1} \cdot year^{-1}$ ) rose from 13 % in 2014 to 18 % in 2024, and the highest class ( $\geq 300 t \cdot ha^{-1} \cdot year^{-1}$ ) increased from 3 % to 7%. This shift points to a gradual intensification of erosion. The analysis revealed that, although areas with low and moderate erosion remain predominant, sites with high and very high erosion risk are clearly present, especially on steep slopes where soil washout becomes more intense and erosive processes are highly active.

Comparison of 2014 and 2024 data shows an increase in the share of high-intensity erosion zones. These changes may be explained by climatic factors, shifts in rainfall regimes, and the combined influence of land cover change and anthropogenic pressure. The findings suggest that the risk of soil degradation in the study area has persisted over the last decade and has intensified at specific locations.

The expansion of erosion-prone areas affects the stability of agricultural production and the socio-economic conditions of local communities. Soil loss reduces the fertility of arable land and increases farmers' costs, forcing them to invest more in fertilizers, agronomic measures, and soil restoration. Declining productivity can lead to lower income in rural regions and may intensify migration processes.

Around Oskemen, where household plots, small farms, and partially irrigated systems operate, soil erosion must be regarded as a key factor when assessing their long-term economic sustainability. If preventive measures are not implemented in the most erosion-susceptible sites, a cycle of losses in the agricultural sector may intensify, and in the long run the quality of land resources may decline irreversibly.

The results obtained can be used to identify erosion-prone areas, plan soil-conservation measures, and support rational land-resource management. They also provide a scientific basis for future research on soil erosion assessment and prediction within the Oskemen urban area.

In future work, this approach can be extended by comparing time series (for example, at 3–5-year intervals), incorporating additional climatic scenarios, and explicitly accounting for land-use changes to explore the long-term dynamics of soil erosion in more detail. Furthermore, integrating RUSLE outputs with spatial distribution maps of heavy metals will enable a comprehensive evaluation of the combined risks of soil degradation and chemical contamination in industrial regions such as Oskemen.

### REFERENCES

- Baigazakova Z., Yerzhankyz M., Mukhametzhanova O., Bukabayeva Z., & Adalkan O. (2025). Forest ecosystems of East Kazakhstan in the system of water balance regulation and soil erosion protection // *Izdenister Natigeler*. 2(106). 480–491. <https://doi.org/10.37884/2-2025/48>
- Chlachula J. (2020). Geoheritage of East Kazakhstan. *Geoheritage*. 12(4). 91. <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00514-y>
- Gao X., Yang P., Zhou Z., Zhu J., & Yang C. (2024). Human and natural activities effects on soil erosion in karst plateau based on QAM model: A case study of Bijie City, Guizhou Province. — *China. Land*. 13(11). 1841. <https://doi.org/10.3390/land13111841>
- Gao Y., Li F., Mao L., Gu B., Peng C., Yang Q., Lu L., Chen X., Zhang D., & Tao H. (2021). Potential loss of toxic elements from slope arable soil erosion into watershed in Southwest. — *China: Effect of spatial distribution and land-uses. Minerals*, 11(12). 1422. <https://doi.org/10.3390/min11121422>
- Gezici K., Şengül S., & Kesgin E. (2025). Assessment of soil erosion risk in the mountainous region of northeastern Türkiye based on the RUSLE model and CMIP6 climate projections. *Environmental Earth Sciences*. 84(6). 167. <https://doi.org/10.1007/s12665-025-12184-6>
- Kaliyeva D., Tokbergenova A., Mirzabaev A., Zulpykharov K., Bissenbayeva S., Taukebayev O., & Qadir M. (2025). Assessing soil erosion risk in Kazakhstan: A RUSLE-based approach for land rehabilitation // *Polish Journal of Environmental Studies*. 34(3). 3187–3198. <https://doi.org/10.15244/pjoes/187595>
- Kydyrkhanova Y. B. (2024). Assessment of the phytotoxicity of soil samples in Öskemen city: Impact of industrial activities on plant health and the environment. — Astana: L. N. Gumilyov Eurasian National University. ISBN 978-601-7697-07-5. <http://rep.eni.kz/handle/eni/18895>
- Liu Z., Wang M., Liu X., Lyu X., Wang M., Wang F., Ji X., & Li X. (2024). Spatiotemporal simulation and projection of soil erosion as affected by climate change in Northeast China // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 135. 104305. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.104305>

org/10.1016/j.jag.2024.104305

Philippe P., & Benahmed N. (2025). Quantifying soil surface erosion. *Comptes Rendus. Physique*. 25(S3). 297–332. <https://doi.org/10.5802/crphys.225>

Renard K.G., & Freimund J.R. (1994). Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE // *Journal of Hydrology*. 157(1–4). 287–306. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)90110-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(94)90110-4)

Rendana M., Idris W.M.R., & Rahim S.A. (2022). The variation of riverine heavy metal flux using RUSLE model in the Ranau sub-basins, Malaysia: Adjacent to ultrabasic soil. *Water, Air, & Soil Pollution*. 233(12). 495. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05979-x>

Sikhanova N., Shynbergenov E., Togyzbayeva N., & Karabalayeva A. (2025). Geo-information modelling of the distribution of heavy metals in the soil cover of major cities of the Republic of Kazakhstan (based on Kazhydromet RSE data for 2019–2023) // *Bulletin of L. N. Gumilyov Eurasian National University. Chemistry. Geography. Ecology Series*, 152(3). 157–174.

Tullu K.T. (2024). Assessment of soil erosion response to climate change in the Sululta catchment, Abbay Basin, Ethiopia // *H2Open Journal*. 7(1). 23–37. <https://doi.org/10.2166/h2oj.2023.083>

Weng X., Zhang B., Zhu J., Wang D., & Qiu J. (2023). Assessing land use and climate change impacts on soil erosion caused by water in China. *Sustainability*. 15(10). 7865. <https://doi.org/10.3390/su15107865>

Xia W., Zhao Z., Zhang K.-N., Liu Z.-Y., He Y., & Wang H.-M. (2025). Spatial distribution and risk assessment of heavy metal pollution at a typical abandoned smelting site // *Results in Engineering*. 26. 105281. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105281>

Xu Z., Yin M., Yang X., Yang Y., Xu X., Li H., Hong M., Qiu G., Feng X., Tan W., & Yin H. (2024). Simulation of vertical migration behaviors of heavy metals in polluted soils from arid regions in northern China under extreme weather // *Science of the Total Environment*. 919. 170494. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170494>

Yin C., Bai C., Zhu Y., Shao M., Han X., & Qiao J. (2025). Future soil erosion risk in China: Differences in erosion driven by general and extreme precipitation under climate change. *Earth's Future*. 13(3). e2024EF005390. <https://doi.org/10.1029/2024EF005390>

Zhang F., Shen C., Wang S., & Jia Y. (2021). Application of the RUSLE for determining riverine heavy metal flux in the Upper Pearl River Basin, China // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 106(1). 24–32. <https://doi.org/10.1007/s00128-020-02896-9>

Zhumadilova N.B. (n.d.). Degradation of land in the Republic of Kazakhstan: Assessment of the extent of desertification, land degradation and erosion [in Russian; transliterated: Degradatsiya zemel' v Respublike Kazakhstan: Otsenka masshtabov opustynivaniya, degradatsii zemel' i erozii]. — Astana: S. Seifullin Kazakh Agro Technical University.

#### Author contributions

**Zhanar K. Abilda** — participated in fieldwork, processed experimental data, prepared graphical materials, and conducted the literature review.

**Zagipa B. Sapakhova** — interpreted the research findings, performed statistical analysis of the data, and contributed to manuscript preparation and editing.

**Iskander Isgandarov** — conducted digital data processing, performed spatial analysis, and contributed to the visualization of the results.

**Igor Klein** — performed validation of the spatial interpolation model and contributed to the assessment of its predictive performance.

**Malika Kh. Shamekova** — led the project, defined the research objectives, interpreted the results, edited the manuscript, and approved its final version.

All authors have read and approved the final version of the manuscript and agreed to its publication.



**D.E. Yerzhan<sup>1</sup>, A.K. Kurishbayev<sup>2</sup>, V.I. Kiryushin<sup>3</sup>, Zh.S. Almanova<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>NJSC «S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University», Astana, Kazakhstan;

<sup>2</sup>NJSC «National Academy of Sciences of the Kazakhstan under the President of the Republic of Kazakhstan», Almaty, Kazakhstan;

<sup>3</sup>Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”, Moscow, Russian Federation.

E-mail: Yerzhan.Dilmurat@gmail.com

## AGROECOLOGICAL VERIFICATION OF NDVI PRODUCTIVITY ZONES OF SOUTHERN CHERNOZEMS

**Yerzhan Dilmurat Yerzhanuly**, doctoral student, NJSC «S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University», Kazakhstan, 010000, Astana, 62, Zhenis Avenue

E-mail: Yerzhan.Dilmurat@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-8317-4087>;

**Kurishbayev Akylbek Kazhigulovich**, doctor of agricultural sciences, professor, academician, President of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan under the President of the Republic of Kazakhstan, Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty, 29, Kurmangazy Street

E-mail: Akylbekkk\_17@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0568-5964>;

**Kiryushin Valery Ivanovich**, doctor of biological sciences, professor, academician of the Russian Academy of Sciences, chief researcher at the Federal Research Centre «V.V. Dokuchaev Soil Science Institute», Russian Federation, 119017, Moscow, 7 Pyzhevsky Lane, building 2, near Tretyakovskaya and Polyanka metro stations

E-mail: vkiryushin@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3766-1932>;

**Almanova Zhanna Sarsimbayevna**, PhD, Head of the Center for Agrobioresources and Ecology Sciences, National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan under the President of the Republic of Kazakhstan, Kazakhstan, 050010, Almaty, 29, Kurmangazy Street

E-mail: Zhanna051218@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9396-9109>.

**Abstract.** *Introduction.* Sustainable agriculture in the grain-producing regions of Kazakhstan requires a transition from generalized technological solutions to agroecologically differentiated land resource management. In this context, verification of productivity zones identified by NDVI is of particular importance, since remote sensing indices reflect the spatial heterogeneity of crops but do not always explain its soil-landscape and biological causes. *Materials and methods.* The aim of the study was to perform agroecological verification of NDVI-based productivity zones through the analysis of microrelief, soil agrochemical status, and phenological indicators of agricultural crops. The study was conducted in 2024–2025 on the territory of Olzha-Sadchikovskoye LLP, Kostanay District, Kostanay Region, covering an area of 1,500 ha, including fields No. 18, No. 33, No. 67–71, and No. 90. The study used soil-landscape survey materials, SRTM data, NDVI images, satellite images with a resolution of 2.44–30 m, results of agrochemical analysis of the 0–20 cm soil layer, and field phenological records. *Results and discussion.* A three-level verification scheme was proposed: the remote sensing level — NDVI; the soil-landscape level — microrelief and agrochemical indicators; and the biological level — plant density and plant height. It was established that stable productivity zones are associated with relief, moisture availability, particle-size composition, and nutrient supply. The stable area of the zones was 72 % in field No. 67–71, 43 % in field No. 18, and 58 % in field No. 90. The content of available potassium increased from slopes to depressions, from 650 to 950 mg/kg. *Conclusion.* NDVI zones should be considered as a diagnostic layer requiring soil-agroecological and biological verification to substantiate differentiated crop management.

**Keywords:** NDVI, agroecological land assessment, microrelief, southern chernozems, phenological

response, agrochemical indicators

**For citation:** Yerzhan D.E., Kurishbayev A.K., Kiryushin V.I., Almanova Zh.S., Zvyagin G.A. (2026). Agroecological verification of NDVI productivity zones of southern chernozems // Research, results – Изденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 74–89. <https://doi.org/10.37884/4-2026/06> [In Russ.].

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

**Funding:** *The research was carried out within the framework of the programme-targeted funding project BR22885719, “Development and implementation of sustainable farming systems for profitable agricultural production under changing climate conditions for various soil and climatic zones of Kazakhstan”, under the project activity: “Agroecological land assessment and design of adaptive landscape farming systems based on GIS technologies to optimize soil fertility”, 2024–2026.*

**Д.Е. Ержан<sup>1</sup>, А.К. Куришбаев<sup>2</sup>, В.И. Кирюшин<sup>3</sup>, Ж.С. Алманова<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан;

<sup>2</sup>Қазақстан Республикасы Президентінің жанындағы «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» КеАҚ, Алматы, Қазақстан;

<sup>3</sup>В.В. Докучаев атындағы Топырақтану институты» Федералдық зерттеу орталығы» Федералдық мемлекеттік бюджеттік ғылыми мекемесі, Мәскеу, Ресей Федерациясы.

E-mail: Yerzhan.Dilmurat@gmail.com

## ОҢТҮСТІК ҚАРА ТОПЫРАҚТАРДАҒЫ NDVI БОЙЫНША ӨНІМДІЛІК АЙМАҚТАРЫН АГРОЭКОЛОГИЯЛЫҚ ВЕРИФИКАЦИЯЛАУ

**Ержан Ділмұрат Ержанұлы**, докторант, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Қазақстан, 010000, Астана, Жеңіс даңғылы, 62

E-mail: Yerzhan.Dilmurat@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-8317-4087>;

**Куришбаев Ақылбек Қажығұлұлы**, ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, профессор, академик, Қазақстан Республикасы Президентінің жанындағы Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясының Президенті, Қазақстан, 050010, Алматы, Құрманғазы көшесі, 29

E-mail: Akylbekkk\_17@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0568-5964>;

**Кирюшин Валерий Иванович**, биология ғылымдарының докторы, профессор, Ресей ғылым академиясының академигі, «В.В. Докучаев атындағы Топырақтану институты» Федералдық зерттеу орталығы» ФМБФМ бас ғылыми қызметкері, Ресей Федерациясы, 119017, Мәскеу, Пыжевский тұйық көшесі, 7-үй, 2-құрылыс, Третьяковская және Полянка метро станциялары

E-mail: vkiryushin@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3766-1932>;

**Алманова Жанна Сарсимбайқызы**, PhD докторы, Қазақстан Республикасы Президентінің жанындағы Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы Агробioresурстар және экология ғылымдары орталығының басшысы, Қазақстан, 050010, Алматы, Құрманғазы көшесі, 29

E-mail: Zhanna051218@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9396-9109>.

**Аннотация.** *Kipicne.* Қазақстанның астық өндіретін өңірлерінде тұрақты егіншілік орташа алынған технологиялық шешімдерден жер ресурстарын агроэкологиялық тұрғыдан сараланған басқаруға көшуді талап етеді. Осы тұрғыда NDVI бойынша бөлінген өнімділік аймақтарын верификациялау маңызды мәнге ие, өйткені қашықтан зондтау индекстері егістіктердің кеңістіктік әркелкілігін көрсеткенімен, оның топырақ-ландшафттық және биологиялық себептерін әрдайым түсіндіре бермейді. *Материалдар мен әдістер.* Зерттеудің мақсаты микрорельефті, топырақтың агрохимиялық жай-күйін және ауыл шаруашылығы дақылдарының фенологиялық көрсеткіштерін талдау негізінде NDVI бойынша өнімділік аймақтарын агроэкологиялық верификациялау болды. Зерттеулер 2024–2025 жж. Қостанай облысы Қостанай ауданы аумағындағы «Олжа-Садчиковское» ЖШС жерлерінде, №18, №33, №67–71 және №90 танаптарды қамтитын 1500 га алаңда жүргізілді. Топырақ-ландшафттық зерттеу материалдары, SRTM деректері, NDVI-суреттер, кеңістіктік ажыратымдылығы 2,44–30 м ғарыштық суреттер, 0–20 см қабаттың агрохимиялық талдау нәтижелері және далалық фенологиялық есепке алу деректері пайдаланылды. *Нәтижелер және талқылау.* Верификацияның үш деңгейлі схемасы ұсы-

нылды: қашықтан зондтау деңгейі – NDVI, топырақ-ландшафттық деңгей – микрорельеф және агрохимиялық көрсеткіштер, биологиялық деңгей — өсімдіктердің жиілігі мен биіктігі. Тұрақты өнімділік аймақтарының жер бедерімен, ылғалмен қамтамасыз етілуімен, гранулометриялық құрамымен және қоректік элементтермен байланысты екені анықталды. Аймақтардың тұрақты ауданы №67–71 танапта 72 %, №18 танапта 43 % және №90 танапта 58 % құрады. Жылжымалы калий мөлшері беткейлерден ойпаңдарға қарай 650-ден 950 мг/кг-ға дейін артты. *Қорытынды.* NDVI-аймақтарын егістікті саралап басқаруды негіздеу үшін топырақ-агроэкологиялық және биологиялық верификацияны талап ететін диагностикалық қабат ретінде қарастыру қажет.

**Түйін сөздер:** NDVI, жерлерді агроэкологиялық бағалау, микрорельеф, оңтүстік қара топырақтар, фенологиялық реакция, агрохимиялық көрсеткіштер

**Дәйексөз үшін:** Ержан Д.Е., Куришбаев А.К., Кирюшин В.И., Алманова Ж.С., Звягин Г.А. (2026). Оңтүстік қара топырақтардың NDVI бойынша өнімділік аймақтарын агроэкологиялық верификациялау. // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 74–89. <https://doi.org/10.37884/4-2026/06> [In Russ.].

**Мүдделер қақтығысы:** авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

**Алғыс:** ғылыми жұмыс BR22885719 «Қазақстанның әртүрлі топырақ-климаттық аймақтары үшін өзгермелі климат жағдайында ауыл шаруашылығы өнімін рентабельді өндіруге арналған тұрақты егіншілік жүйелерін әзірлеу және енгізу» бағдарламалық-нысаналы қаржыландыруы шеңберінде, жобалық іс-шара бойынша: «Топырақ құнарлылығын оңтайландыру жолдарын шешу үшін ГАЖ технологиялары негізінде жерлерді агроэкологиялық бағалау және адаптивті-ландшафттық егіншілік жүйелерін жобалау», 2024–2026 жж.

**Д.Е. Ержан<sup>1</sup>, А.К. Куришбаев<sup>2</sup>, В.И. Кирюшин<sup>3</sup>, Ж.С. Алманова<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», Астана, Казахстан;

<sup>2</sup>НАО «Национальная академия наук Республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан», Алматы, Казахстан;

<sup>3</sup>ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева», Москва, Российская Федерация.  
E-mail: Yerzhan.Dilmurat@gmail.com

## АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ NDVI-ЗОН ПРОДУКТИВНОСТИ ЮЖНЫХ ЧЕРНОЗЁМОВ

**Ержан Ділмұрат Ержанұлы**, докторант НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», Казахстан, 010000, Астана, проспект Женис, 62  
E-mail: Yerzhan.Dilmurat@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-8317-4087>;

**Куришбаев Акылбек Кажигулович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик, Президент Национальной академии наук РК при Президенте Республики Казахстан, Казахстан, 050010, Алматы, ул. Курмангазы, 29  
E-mail: Akylbekkk\_17@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0568-5964>;

**Кирюшин Валерий Иванович**, доктор биологических наук, профессор, академик Российской академии наук, главный научный сотрудник ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», РФ, 119017, Москва, Пыжевский пер., д.7, стр.2 Ст/М Третьяковская, Полянка  
E-mail: vkiryushin@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3766-1932>;

**Алманова Жанна Сарсимбаевна**, доктор PhD, руководитель центра наук об агробиоресурсах и экологии Национальной академии наук РК при Президенте Республики Казахстан, Казахстан, 050010, Алматы, ул. Курмангазы, 29  
E-mail: Zhanna051218@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9396-9109>.

**Аннотация. Введение.** Устойчивое земледелие в зернопроизводящих регионах Казахстана требует перехода от усреднённых технологических решений к агроэкологически дифференцированному управлению земельными ресурсами. В этом контексте важное значение имеет верификация зон продуктивности, выделенных по NDVI, поскольку дистанционные индексы отражают пространственную

неоднородность посевов, но не всегда объясняют её почвенно-ландшафтные и биологические причины. *Материалы и методы.* Целью исследования являлась агроэкологическая верификация NDVI-зон продуктивности на основе анализа микрорельефа, агрохимического состояния почв и фенологических показателей сельскохозяйственных культур. Исследования проведены в 2024–2025 гг. на территории ТОО «Олга-Садчиковское» Костанайского района Костанайской области на площади 1500 га, включающей поля №18, №33, №67–71 и №90. Используются материалы почвенно-ландшафтного обследования, данные SRTM, NDVI-снимки, космические снимки разрешением 2,44–30 м, результаты агрохимического анализа слоя 0–20 см и полевые фенологические учёты. *Результаты и обсуждение.* Предложена трёхуровневая схема верификации: дистанционный уровень — NDVI, почвенно-ландшафтный уровень — микрорельеф и агрохимические показатели, биологический уровень — густота стояния и высота растений. Установлено, что устойчивые зоны продуктивности связаны с рельефом, влагообеспеченностью, гранулометрическим составом и элементами питания. Стабильная площадь зон составила 72 % на поле №67–71, 43 % на поле №18 и 58 % на поле №90. Содержание подвижного калия увеличивалось от склонов к понижениям с 650 до 950 мг/кг. *Заключение.* NDVI-зоны следует рассматривать как диагностический слой, требующий почвенно-агроэкологической и биологической верификации для обоснования дифференцированного управления посевами.

**Ключевые слова:** NDVI, агроэкологическая оценка земель, микрорельеф, южные чернозёмы, фенологическая реакция, агрохимические показатели

**Для цитирования:** Ержан Д.Е., Куришбаев А.К., Кирюшин В.И., Алманова Ж.С., Звягин Г.А. (2026). Агроэкологическая верификация NDVI-зон продуктивности южных чернозёмов // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 74–89. <https://doi.org/10.37884/4-2026/06> [In Russ.].

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Благодарность:** Научная работа выполнена в рамках ПЦФ BR22885719 «Разработать и внедрить устойчивые системы земледелия для рентабельного производства сельскохозяйственной продукции в условиях изменяющегося климата для различных почвенно-климатических зон Казахстана» по проектному мероприятию: «Агроэкологическая оценка земель и проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия на основе ГИС технологий для решения путей оптимизации плодородия почв», 2024–2026 гг.

## Введение.

Современное земледелие степной зоны Казахстана развивается в условиях выраженной пространственной неоднородности почвенного покрова, нестабильного влагообеспечения, усиления деградационных процессов и необходимости повышения эффективности использования пахотных земель. Для Северного Казахстана эта проблема имеет особое значение, поскольку регион относится к основной зоне зернового и масличного производства, где продуктивность сельскохозяйственных культур определяется не только агротехническим уровнем хозяйства, но и соответствием культуры, технологии и сорта конкретным почвенно-ландшафтным условиям. В этих условиях универсальная технологическая схема, рассчитанная на «среднее поле», снижает точность агрономических решений и не учитывает внутривидовую изменчивость влаги, гумуса, элементов питания, гранулометрического состава, солонцеватости и эрозионной опасности.

Методологической основой перехода от усредненного земледелия к пространственно дифференцированному управлению является адаптивно-ландшафтная система земледелия. Её сущность состоит в согласовании структуры посевов, обработки почвы, удобрений, защиты растений и почвозащитных мероприятий с агроэкологическими свойствами конкретных участков. В рамках данного подхода агроэкологическая оценка земель рассматривается не как разовая инвентаризация почвенного покрова, а как инструмент выявления лимитирующих факторов продуктивности и проектирования технологических решений для различных агроэкологических групп и видов земель [Kiryushin & Ivanov, 2005; Kiryushin и др., 2021; Chebykina и др., 2024].

В последние годы в аграрной науке усилилось значение геоинформационных систем, дистанционного зондирования Земли и вегетационных индексов при оценке состояния сельскохозяйственных угодий. Нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI широко применяется для анализа состояния посевов, выделения зон продуктивности, оценки внутривидовой неоднородности и прогно-

зирования урожайности [Skakun и др., 2021; Yli-Heikkilä и др., 2022; Tiruneh и др., 2023]. Вместе с тем, NDVI представляет собой интегральный спектральный сигнал, отражающий состояние растительного покрова, но не раскрывающий самостоятельно причины формирования высокой или низкой продуктивности. Одни и те же значения NDVI могут быть связаны с различными факторами: влагообеспеченностью, переувлажнением, засолением, солонцеватостью, эрозийным сносом гумусового горизонта, гранулометрическим составом, обеспеченностью азотом, фосфором и калием, а также фенологической фазой культуры [Bhatti и др., 2024; Khutuev и др., 2024; Fadl и др., 2024].

Мировые исследования показывают, что наиболее надежная интерпретация зон продуктивности достигается при комплексном использовании NDVI, почвенных показателей, цифровых моделей рельефа, данных электропроводности почв, исторической урожайности и наземной верификации [Ali и др., 2022; Serrano и др., 2022; Vanderlinden и др., 2024; Dogar и др., 2025]. Такой подход позволяет перейти от описательного картирования неоднородности к выделению управленческих зон, для которых могут быть обоснованы различные режимы обработки почвы, удобрения, орошения, защиты растений и размещения культур. Развитие моделей, объединяющих дистанционные данные и свойства почв, подтверждает, что пространственная изменчивость плодородия и рельефа является одним из ключевых факторов формирования продуктивности агроландшафтов [Ormanci & Dengiz, 2025; Zhang и др., 2025].

Для Казахстана применение дистанционного зондирования и ГИС в аграрной сфере становится одним из направлений цифровизации земледелия. Современные исследования в республике подтверждают эффективность Sentinel-2 и других спутниковых данных для классификации культур, оценки пастбищ, анализа почвенного плодородия, мониторинга климатически обусловленных изменений и пространственной диагностики сельскохозяйственных угодий [Arystanov и др., 2025; Kabzhanova и др., 2025; Shaimerdenova и др., 2026; Tokbergenova и др., 2025]. Однако для условий северной степной зоны Казахстана сохраняется недостаточная разработанность подходов, связывающих многолетние NDVI-зоны продуктивности с микрорельефом, агрохимическими показателями и фактической фенологической реакцией культур в системе адаптивно-ландшафтного земледелия.

В ранее выполненных исследованиях по ТОО «Олга-Садчиковское» были разработаны электронные карты агроэкологической оценки земель, картограммы содержания гумуса, нитратного азота, подвижного фосфора, обменного калия, pH и серы, а также карты пригодности земель под основные сельскохозяйственные культуры. По материалам исследования установлено, что продуктивные и малопродуктивные зоны на полях сохраняют относительную устойчивость в течение нескольких лет, а их пространственное распределение связано с элементами рельефа, влагообеспеченностью, почвенным покровом и агрохимическим состоянием пахотного слоя. В ходе исследования было выявлено, что по полю №67–71 стабильная площадь зон низкой и высокой продуктивности составила 72 %, причем низкие зоны продуктивности часто совпадали с положительными формами рельефа, испытывающими дефицит влаги, тогда как отрицательные формы рельефа характеризовались более благоприятными условиями роста за счет дополнительного увлажнения. По полю №18 стабильная площадь зон продуктивности составила 43 %, при этом были выделены зоны с положительным, средним и отрицательным потенциалом урожайности.

Научная проблема настоящего исследования заключается в необходимости агроэкологической верификации NDVI-зон продуктивности. Для проектирования адаптивно-ландшафтной системы земледелия недостаточно определить, где расположены зоны высокой или низкой продуктивности. Необходимо объяснить, почему они сформировались: за счет микрорельефа, аккумуляции влаги, содержания гумуса, азотного режима, обеспеченности калием, гранулометрического состава или биологической реакции конкретной культуры. Такая постановка позволяет перевести NDVI из формального дистанционного индикатора в диагностический слой, пригодный для агрономического планирования.

Научная новизна исследования заключается в разработке и апробации трехуровневой схемы агроэкологической верификации NDVI-зон продуктивности, основанной на сопряжении дистанционных данных, микрорельефа, агрохимических показателей пахотного слоя и фенологической реакции культур.

Цель исследования – провести агроэкологическую верификацию зон продуктивности, выделенных по NDVI, на основе сопряжения данных микрорельефа, агрохимического состояния почв и фенологической реакции сельскохозяйственных культур в условиях южных чернозёмов Костанайской

области.

Для достижения цели решались следующие задачи: систематизировать многолетние данные NDVI по исследуемым полям; сопоставить зоны продуктивности с элементами микрорельефа; охарактеризовать агрохимическое состояние пахотного слоя; оценить фенологическую реакцию суданской травы, яровой пшеницы и льна масличного по густоте стояния и высоте растений; обосновать возможность использования верифицированных NDVI-зон как основы для дифференциации агротехнологий в адаптивно-ландшафтной системе земледелия.

### Материалы и методы.

Исследование выполнено на территории ТОО «Олга-Садчиковское» села Садчиковка Костанайского района Костанайской области. Объект расположен в резко континентальном климате степной зоны на южных чернозёмах. Исследования охватывали четыре производственных поля общей площадью 1500 га: поле №18–171 га, поле №33–337 га, поле №67–71–794 га, поле №90–117 га. Данные поля были выбраны как участки с различной выраженностью рельефа, почвенного покрова и агроэкологических ограничений (таблица 1).

Таблица 1. Объект исследования и площадь полей

| Поле   | Площадь, га | Культура в фенологических учетах 2025 г. | Агроэкологическая характеристика                                                                     |
|--------|-------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| №18    | 171         | Лён масличный                            | Южные чернозёмы, участки со средней расчлененностью, неоднородность продуктивности                   |
| №33    | 337         | Суданская трава                          | Солонцеватость, легкий гранулометрический состав, опесчаненные покровные суглинки с глубины 60–70 см |
| №67–71 | 794         | Яровая пшеница                           | Средняя расчлененность, выраженная неоднородность рельефа и продуктивности                           |
| №90    | 117         | Лён масличный                            | Южные чернозёмы, промежуточные условия по расчлененности, неоднородная влагообеспеченность           |

Методологическая схема исследования включала четыре взаимосвязанных блока: почвенно-ландшафтное обследование, агрохимическую диагностику пахотного слоя, ГИС- и NDVI-анализ, а также фенологическую верификацию зон продуктивности. Такой порядок позволил рассматривать NDVI не как самостоятельный итоговый показатель, а как дистанционный индикатор, требующий сопоставления с почвенными, рельефными и биологическими данными.

Почвенно-ландшафтное обследование проводилось с учетом методических положений агроэкологической оценки земель и проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия. В 2024 году на исследуемых полях были заложены почвенные разрезы глубиной 100–120 см на различных элементах рельефа. Почвенные образцы отбирались из генетических горизонтов, а также из пахотного слоя 0–20 см по элементарным участкам агрохимической сетки размером 25 га. В 2025 году полевые изыскания проводились с апреля по октябрь почвенной экспедицией. Обследование включало заложение почвенных выработок с GPS-привязкой, отбор почвенных проб, бурение скважин до 4 м для определения уровня грунтовых вод и смены почвообразующих пород, а также разработку АгроГИС в масштабе 1:10 000.

Для лабораторной диагностики использовались образцы пахотного слоя и генетических горизонтов почвенного профиля. Агрохимическая характеристика включала определение нитратного азота, подвижного фосфора, обменного калия, гумуса, pH почвенной среды и подвижной серы. Гумус определяли по методу Тюрина в модификации ЦИНАО; подвижные формы фосфора и калия – по методу Мачигина в модификации ЦИНАО; подвижную серу — по методу ЦИНАО; pH и показатели водной вытяжки – по действующим стандартным методикам. В 2025 году дополнительно учитывался гранулометрический состав почв пипеточным методом по ГОСТ 12536–2014.

ГИС-анализ выполнялся с использованием программной среды QuantumGIS. В состав пространственной базы входили электронные карты рельефа, крутизны и экспозиции склонов, гранулометрического состава, почвообразующих пород, микроструктур почвенного покрова, солонцовых земель, агроэкологических групп и видов земель, а также картограммы содержания гумуса, нитратного азота, подвижного фосфора, обменного калия, pH и серы. В 2025 году дополнительно были разработаны агроэкологические карты возделывания яровой пшеницы, льна масличного, суданской травы, ярового ячменя, донника, кукурузы на силос, а также карта севооборотов и производственных участков.

Для дистанционной оценки продуктивности использовались данные NDVI и космические снимки с пространственным разрешением 2,44; 10; 15 и 30 м, а также цифровая модель рельефа SRTM. Нормализованный разностный вегетационный индекс рассчитывался по стандартному соотношению отражения в ближнем инфракрасном и красном диапазонах:  $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$ . Для анализа зон продуктивности использовались многолетние ряды снимков: по полю №67–71 – за 2018–2024 гг., по полю №18 – за 2018–2024 гг., по полю №33 – за 2018–2024 гг., по полю №90 – за 2018–2024 гг. Для построения карт продуктивности отбирались снимки с наиболее выраженными значениями NDVI в период активной вегетации.

Морфометрическая оценка рельефа выполнялась по классам уклонов:  $\leq 1^\circ$ ,  $1-2^\circ$ ,  $2-3^\circ$  и  $\geq 3^\circ$ . Для каждого поля определялась площадь по классам уклонов, средневзвешенный уклон и класс расчлененности территории. Микрорельеф учитывался через выделение водоразделов, склонов и понижений. Эти элементы использовались как основа для сопоставления зон NDVI, агрохимических показателей и фенологических параметров растений. Поле №33 характеризуется низкой расчлененностью, поля №67–70 и №18 – средней расчлененностью, поле №90 занимает промежуточное положение между низкой и средней расчлененностью.

Фенологическая верификация зон продуктивности проводилась по материалам учета густоты стояния и высоты растений. Густота стояния определялась путем подсчета количества растений на площади  $1 \text{ м}^2$  в трех повторностях. Учет проводился по элементам рельефа: водораздел, понижение, склон. В наблюдения включались суданская трава на поле №33, яровая пшеница на поле №67–71, лен масличный на полях №18 и №90. Средняя густота стояния составила 32,4 шт./ $\text{м}^2$  для суданской травы, 74 шт./ $\text{м}^2$  – для пшеницы, 122,5 шт./ $\text{м}^2$  – для льна масличного, на поле №18 и 96,4 шт./ $\text{м}^2$  – для льна масличного на поле №90.

Высота растений также оценивалась по элементам рельефа и использовалась как показатель морфометрической реакции культуры на условия микрорельефа. Сопоставление густоты стояния, высоты растений и NDVI-зон позволило выполнить биологическую проверку дистанционно выделенных зон продуктивности. Такой подход соответствует принципу наземной верификации данных дистанционного зондирования и снижает риск ошибочной интерпретации NDVI как прямого показателя урожайности без учета почвенно-ландшафтных факторов.

Агрохимические показатели интерпретировались не изолированно, а в связи с положением участка в рельефе и уровнем вегетационной активности. Содержание подвижного калия закономерно распределялось по элементам рельефа: на водоразделах оно составляло около 800 мг/кг, на склонах – 650 мг/кг, в понижениях – 950 мг/кг. Такое распределение объяснялось эрозионным сносом на склонах и аккумуляцией илестых частиц и органических остатков в понижениях.

Для комплексной интерпретации использовалась логическая схема «NDVI-зона – элемент рельефа – агрохимическое состояние – фенологическая реакция культуры». Были выделены три интерпретационные группы: эрозионные склоны с содержанием гумуса менее 2 % и NDVI менее 0,4; средние по плодородию участки с содержанием гумуса 2,5–3,5 % и NDVI 0,5–0,6; высокопродуктивные зоны с содержанием гумуса более 3,5 % и NDVI более 0,7. Оптимальная зона фотосинтетической активности соответствовала содержанию гумуса 3,5–4,0 % и нитратного азота 7–9 мг/кг.

Статистическая обработка включала расчет средних значений, стандартных отклонений, сравнительную оценку показателей по полям и элементам рельефа, а также корреляционный анализ связи между содержанием гумуса и нитратного азота. Для описания нелинейной зависимости между NDVI, гумусом и азотом использовалась параболическая аппроксимация. Построение самостоятельной прогнозной модели урожайности в рамках данной статьи не выполнялось.

### Результаты.

NDVI-анализ показал, что продуктивность исследуемых полей имеет устойчивую пространственную структуру. На поле №67–71 для построения карты продуктивности были использованы снимки с максимальными значениями NDVI за 2018–2024 гг.; стабильная площадь зон низкой и высокой продуктивности составила 72 %. Было выявлено, что низкие зоны продуктивности часто совпадают с положительными элементами рельефа – водоразделами и вершинами, испытывающими дефицит влаги. Отрицательные формы рельефа с лугово-чернозёмными почвами характеризовались более благоприятными условиями роста за счет дополнительного увлажнения (рисунок 1).

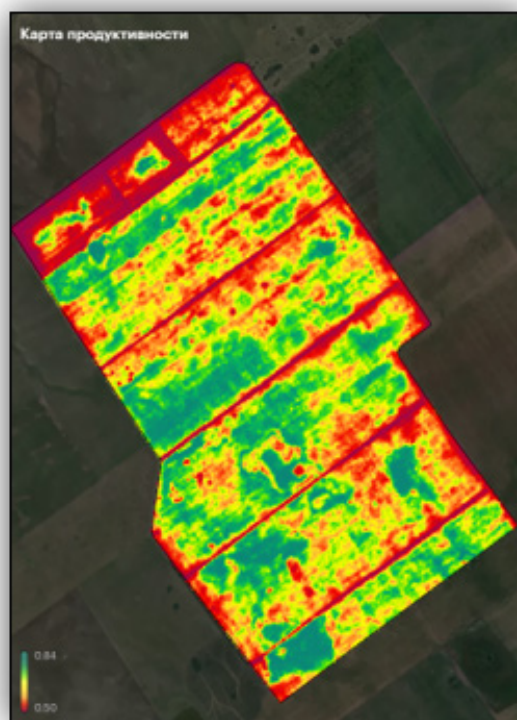


Рис. 1. Усредненная карта продуктивности поля №67–71 на основе данных индекса NDVI за 2018–2024 гг.

[Fig. 1. Average field productivity map for Fields No. 67–71 based on NDVI data for 2018–2024]

Для поля №18 использованы снимки NDVI за 2018–2024 гг. Стабильная площадь поля составила 43 %. Зона 3 занимала 40,9 га, или 23,6 %, и характеризовалась положительным потенциалом урожайности +9,0 %. Зона 2 занимала 99,2 га, или 57,1 %, и отнесена к среднему потенциалу. Зона 1 занимала 33,4 га, или 19,2 %, с потенциалом урожайности –5,0 % (рисунок 2).

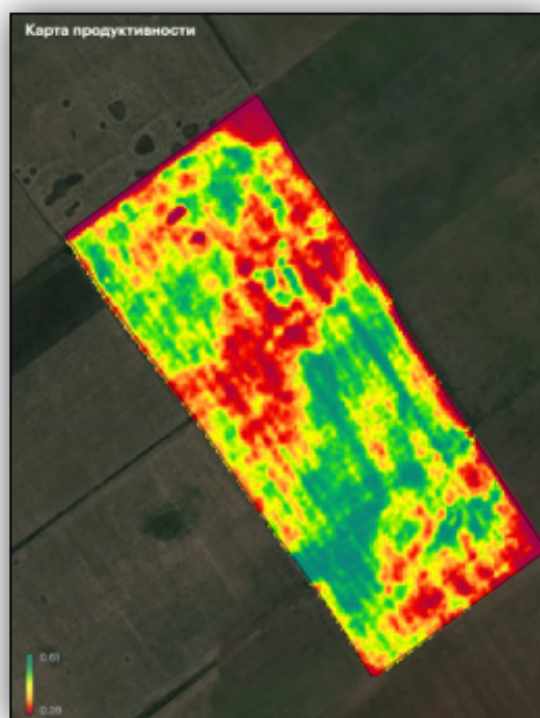


Рис. 2. Усредненная карта продуктивности поля №18 на основе данных индекса NDVI за 2018–2024 гг.

[Fig. 2. Average field productivity map for Field No. 18 based on NDVI data for 2018–2024]

На поле №90 стабильная площадь зон низкой и высокой продуктивности составила 58 %. Зона 3 занимала 37,3 га, или 30,5 %, и характеризовалась потенциалом урожайности +16,0 %. Зона 2 занимала 51,4 га, или 42,0 %. Зона 1 занимала 33,5 га, или 27,4 %, с потенциалом урожайности –9,0 %. Было отмечено, что положительные формы рельефа совпадают с красными зонами карты продуктивности, тогда как отрицательные элементы рельефа формируют более высокую продуктивность за счет дополнительного увлажнения и накопления растительной биомассы (рисунок 3).

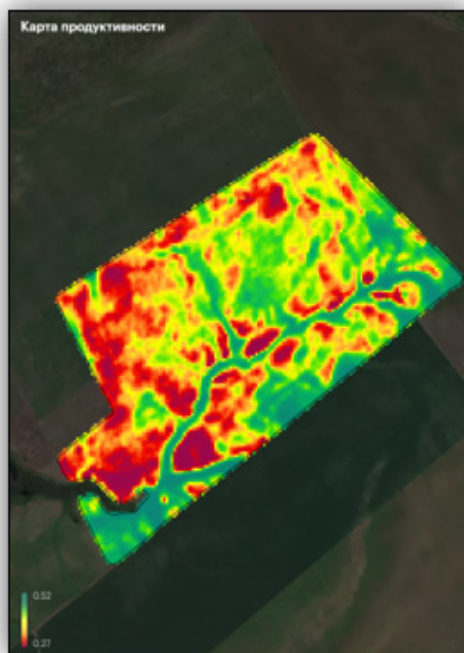


Рис. 3. Усредненная карта продуктивности поля №90 на основе данных индекса NDVI за 2018–2024 гг.  
[Fig. 3. Average field productivity map for Field No. 90 based on NDVI data for 2018–2024]

Для построения карт продуктивности поля №33 были отобраны и проанализированы снимки за 2018–2024 гг. Стабильная площадь зон продуктивности на поле №33 составила 43 % (рисунок 4).

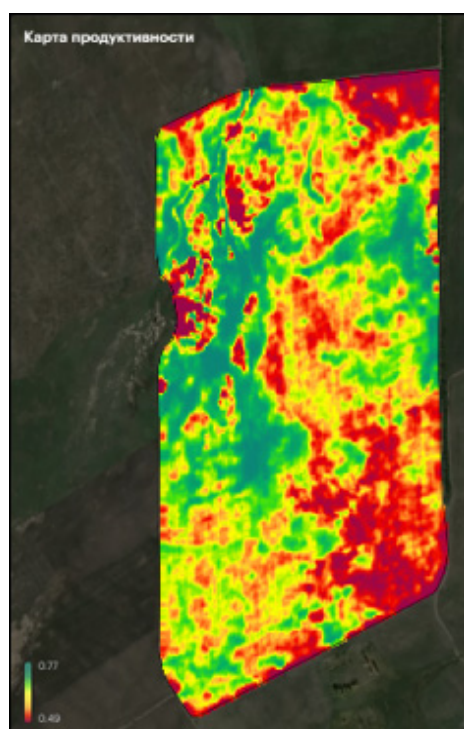


Рис. 4. Усредненная карта продуктивности поля №33 на основе данных индекса NDVI за 2018–2024 гг.  
[Fig. 4. Average field productivity map for Field No. 33 based on NDVI data for 2018–2024]

Полученные данные показывают, что NDVI-зоны не являются случайным результатом одного года. Их устойчивость указывает на наличие стабильных почвенно-рельефных факторов, влияющих на продуктивность культур.

Морфометрические данные подтверждают технологическую значимость рельефа (рисунок 5). Поле №33 имеет низкую расчлененность со средним уклоном  $0,83^\circ$ . Поля №67–71 и №18 имеют средний уклон  $1,20^\circ$  и относятся к среднерасчлененным территориям. Поле №90 характеризуется средним уклоном  $1,08^\circ$ . Было отмечено, что поля №67–70 и №18 имеют значительную долю склонов  $1-2^\circ$  и  $2-3^\circ$ , около 40 %, что требует применения почвозащитных технологий.

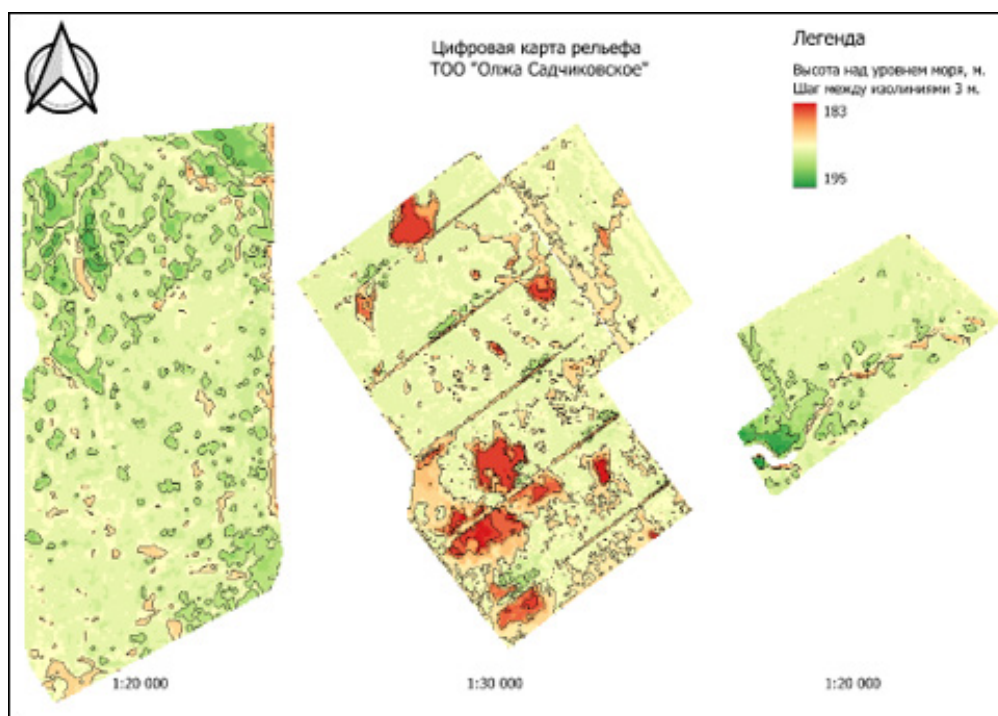


Рис. 5. Цифровая карта рельефа  
[Fig. 5. Digital elevation map]

Связь NDVI с рельефом наиболее четко проявилась на полях №67–71 и №90. На положительных формах рельефа NDVI снижался из-за дефицита влаги, тогда как пониженные элементы рельефа обеспечивали лучшие условия для накопления биомассы. Это подтверждает, что микрорельеф выступает не фоновым, а диагностическим фактором при интерпретации зон продуктивности (таблица 2).

Таблица 2. Морфометрическая характеристика исследуемых полей

| Поле   | Средний уклон S, ° | Класс расчлененности | Агроэкологическая интерпретация                                                                                    |
|--------|--------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| №33    | 0,83               | Низкая               | Минимальный риск эрозии, но выражены ограничения, связанные с солонцеватостью и легким гранулометрическим составом |
| №67–70 | 1,20               | Средняя              | Необходимость почвозащитной обработки и учета склоновых процессов                                                  |
| №18    | 1,20               | Средняя              | Риск внутривершинной дифференциации влаги и питательных веществ                                                    |
| №90    | 1,08               | Низкая–средняя       | Промежуточное положение, локальные ограничения по влаге и микрорельефу                                             |

Почвенно-агрохимический анализ показал выраженную неоднородность плодородия (таблица 3). Содержание гумуса на большей территории хозяйства варьирует от 2 до 4 %, содержание нитратного азота на всех исследуемых полях относится к очень низкому и низкому уровням: менее 6 мг/кг и 6–9 мг/кг. Подвижный фосфор распределен пестро: поля №67–71 и №18 имеют преимущественно повышенную и высокую обеспеченность, тогда как на других полях отмечается более низкая обеспеченность. Обменный калий на всех полях находится на очень высоком уровне, что связано с минералогическим составом почв и почвообразующих пород.

Таблица 3. Агрохимическая характеристика пахотного горизонта по полям

| Поле   | n   | N-NO <sub>3</sub> , мг/кг | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг | K <sub>2</sub> O, мг/кг | Гумус, %    | pH          |
|--------|-----|---------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-------------|-------------|
| №18    | 30  | 5,37 ± 2,50               | 32,89 ± 10,91                         | 825,50 ± 174,20         | 2,89 ± 0,60 | 7,52 ± 0,72 |
| №33    | 19  | 4,41 ± 3,88               | 35,18 ± 18,34                         | 575,00 ± 178,64         | 1,84 ± 0,24 | 7,02 ± 0,61 |
| №67–71 | 47  | 8,29 ± 2,30               | 38,33 ± 20,16                         | 715,43 ± 174,50         | 3,09 ± 0,41 | 7,99 ± 0,59 |
| №90    | 12  | 5,83 ± 2,29               | 23,04 ± 7,96                          | 708,83 ± 183,22         | 3,17 ± 1,14 | 8,20 ± 0,66 |
| Всего  | 108 | 6,52 ± 3,10               | 34,57 ± 17,09                         | 720,56 ± 192,38         | 2,83 ± 0,73 | 7,71 ± 0,74 |

Поле №33 выделяется как наиболее ограниченное по агрохимическим и водно-физическим условиям. Низкие показатели плодородия поля №33 связаны с солонцеватостью, легким гранулометрическим составом и подстиланием опесчаненной почвообразующей породой с глубины 60–70 см, что снижает влагоудерживающую способность почв.

В ходе исследований также установлено, что на суглинистых и глинистых почвах NDVI стабильно выше и достигает 0,6–0,7, тогда как на легких по гранулометрическому составу участках наблюдается дефицит калия. Пространственная мозаичность NDVI согласуется с распределением обменного калия. В понижениях, где происходит аккумуляция гумуса и элементов питания, отмечены более высокие и стабильные значения NDVI – 0,65–0,75. Для связи NDVI с гумусом и азотом применялась параболическая аппроксимация; оптимальная зона определена при содержании гумуса 3,5–4,0 % и азота 7–9 мг/кг.

По результатам исследований был проведен анализ корреляционной зависимости между гумусом и азотом в черноземных почвах на разных элементах рельефа. В 2024 году зависимость носила положительный характер: при увеличении гумуса до 4–4,5 % содержание азота возрастало ( $r = +0,19$ ). Параболическая аппроксимация показала нелинейный рост азота при низких значениях гумуса и стабилизацию на высоких. В 2025 году наблюдалась слабая отрицательная корреляция ( $r = -0,31$ ). Это связано с более неблагоприятными климатическими условиями (усиление минерализации, вымывание азота, денитрификация), а также с перераспределением органического вещества по рельефу. При этом максимум азота фиксировался при содержании гумуса около 3,5–4,0 %, после чего рост был незначительным (рисунок 6).

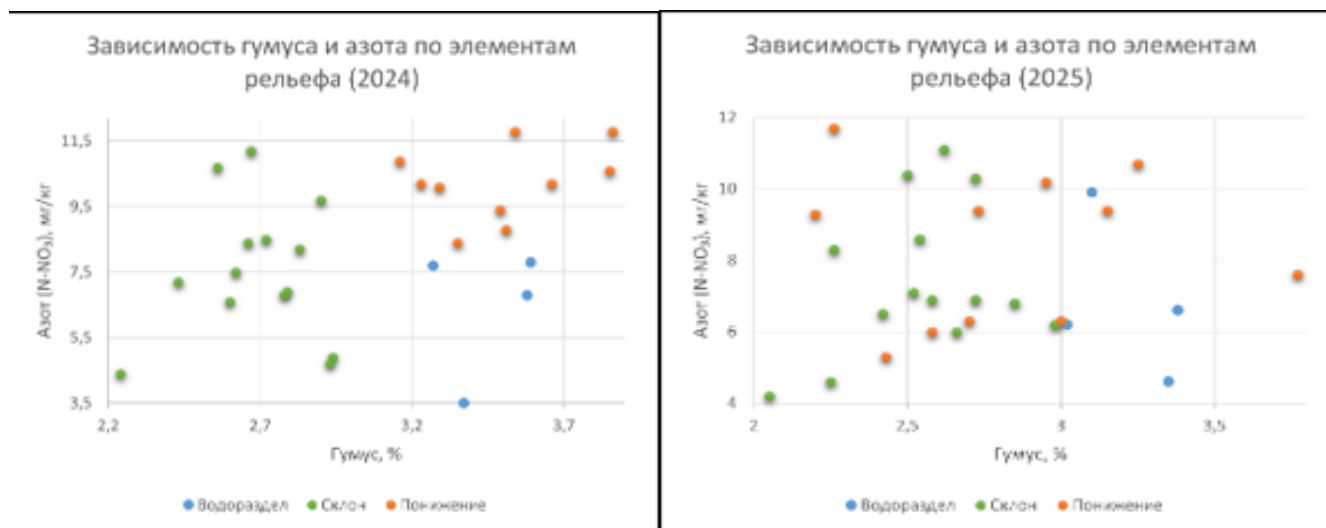


Рис. 6. Корреляционная зависимость между гумусом и азотом на разных элементах рельефа  
[Fig. 6. Correlation between humus and nitrogen across different relief elements]

В целом корреляционная зависимость между содержанием гумуса и нитратного азота имеет слабый и умеренно выраженный характер, что объясняется комплексным влиянием геоморфологических условий, агроэкологических групп и видов земель, агрохимических, физико-химических, водно-физических и агротехнических факторов.

Анализ данных за 2024 и 2025 гг. показал, что содержание гумуса закономерно варьирует в зависимости от геоморфологических условий и агроэкологических групп и видов земель. На водо-

разделах (плакорные земли) гумус стабилен и находится на уровне 3,0–3,5 %, что отражает хорошее состояние гумусового горизонта. На склонах 1–3° (эрозионные земли) гумус снижается до 2,2–2,9 % вследствие смыва и деградации верхних горизонтов. В понижениях рельефа (полугидроморфные и гидроморфные земли) отмечается более высокий уровень гумуса - 3,0–3,5 % и выше, за счёт аккумуляции органического материала и влаги.

Данные полевой влажности подтверждают различия между полями. В июне достаточные запасы влаги были характерны для полей №18 и №67–71, где показатели достигали 22–28 %. На поле №90 влажность удерживалась на уровне 15–27 %. На поле №33 условия были менее благоприятными: влажность составляла 10–12 %, что связано с легким гранулометрическим составом и опесчаненными породами. В июле на всех полях произошло резкое снижение влажности, особенно в слое 0–40 см; влажность снижалась до 7–10 %, что совпало с критическим периодом вегетации.

Эти данные объясняют различия в NDVI и фенологической реакции культур. Высокая продуктивность пониженных элементов рельефа связана не только с накоплением элементов питания, но и с лучшими условиями водообеспечения. Наоборот, положительные формы рельефа и склоны, особенно при легком гранулометрическом составе, сильнее подвержены иссушению.

Фенологические учеты показали, что реакция культур на микрорельеф неодинакова. Суданская трава на поле №33 характеризовалась наименьшей густотой всходов среди изученных культур: среднее значение составило 32,4 шт./м<sup>2</sup>. Минимальная густота зафиксирована в понижении — 14 шт./м<sup>2</sup>, максимальная на склоне – 63 шт./м<sup>2</sup>. Это связано с подстиланием опесчаненных покровных суглинков с глубины около 60 см и слабым засолением почвенных горизонтов (таблица 4).

Таблица 4. Густота стояния сельскохозяйственных культур по элементам рельефа, шт./м<sup>2</sup>

| Повторность и элемент рельефа | Суданская трава, поле №33 | Пшеница, поле №67–71 | Лён масличный, поле №18 | Лён масличный, поле №90 |
|-------------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Водораздел                    | 21                        | 100                  | 103                     | 93                      |
|                               | 39                        | 94                   | 94                      | 83                      |
|                               | 27                        | 96                   | 91                      | 152                     |
| Понижение                     | 27                        | 33                   | 112                     | 83                      |
|                               | 25                        | 50                   | 128                     | 98                      |
|                               | 14                        | 47                   | 125                     | 138                     |
| Склон                         | 63                        | 71                   | 152                     | 99                      |
|                               | 21                        | 98                   | 142                     | 44                      |
|                               | 55                        | 77                   | 156                     | 78                      |
| Среднее                       | 32,4                      | 74,0                 | 122,5                   | 96,4                    |

Пшеница на поле №67–71 имела среднюю густоту 74 шт./м<sup>2</sup>. Наиболее благоприятные условия для формирования всходов отмечены на водоразделах – 94–100 шт./м<sup>2</sup>. В понижениях густота снижалась до 33–50 шт./м<sup>2</sup>. Наиболее равномерные всходы пшеницы сформировались на водораздельных поверхностях и склонах до 1°.

Лён масличный на поле №18 показал высокую густоту стояния – 122,5 шт./м<sup>2</sup>. Максимальные значения отмечены на склонах – до 156 шт./м<sup>2</sup>, минимальные на водоразделах – 91–103 шт./м<sup>2</sup>. Лён масличный на поле №90 имел среднюю густоту 96,4 шт./м<sup>2</sup>, с диапазоном от 44 шт./м<sup>2</sup> на склоне до 152 шт./м<sup>2</sup> на водоразделе.

Фенологические данные подтверждают, что NDVI-зоны продуктивности необходимо интерпретировать с учетом биологии конкретной культуры. Для суданской травы дополнительное увлажнение понижений усиливало рост в высоту, но не всегда обеспечивало максимальную густоту стояния. Для пшеницы более благоприятными оказались водоразделы и слабые склоны. Для льна масличного реакция была неоднородной и зависела от поля: на поле №18 максимальная густота отмечалась на склонах, а на поле №90 высокая изменчивость проявилась между склонами и водоразделами.

Высота растений также отражала видоспецифическую реакцию культур. Суданская трава имела среднюю высоту 154 см; максимум отмечен в понижениях – до 207 см, минимум на водоразделе – 99 см. Это указывает на высокую отзывчивость культуры на дополнительное увлажнение. Пшеница имела среднюю высоту 67,8–67,9 см; самые высокие растения сформировались на водоразделе и склоне – до 86 и 76 см, тогда как в понижениях высота снижалась до 52–64 см. Лён масличный на поле №18 имел среднюю высоту 55,6–55,7 см, без выраженных различий по элементам рельефа; на поле №90

средняя высота составила 60,5–60,6 см, максимум в понижениях –74 см, минимум на склонах – 44 см (таблица 5).

Таблица 5. Высота сельскохозяйственных культур по элементам рельефа, см

| Повторность и элемент рельефа | Суданская трава, поле №33 | Пшеница, поле №67–71 | Лён масличный, поле №18 | Лён масличный, поле №90 |
|-------------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Водораздел                    | 127                       | 86                   | 46                      | 59                      |
|                               | 130                       | 65                   | 54                      | 61                      |
|                               | 99                        | 69                   | 62                      | 69                      |
| Понижение                     | 183                       | 52                   | 55                      | 52                      |
|                               | 207                       | 76                   | 53                      | 61                      |
|                               | 203                       | 64                   | 65                      | 74                      |
| Склон                         | 146                       | 64                   | 52                      | 44                      |
|                               | 130                       | 76                   | 56                      | 61                      |
|                               | 161                       | 59                   | 58                      | 64                      |
| Среднее                       | 154,0                     | 67,8                 | 55,6                    | 60,5                    |

Сопряжение NDVI, рельефа, агрохимии и фенологии позволяет выделить три типа агроэкологической интерпретации зон продуктивности (таблица 6).

Таблица 6. Агроэкологическая верификация NDVI-зон

| Тип зоны           | NDVI-признак                    | Почвенно-рельефное объяснение                            | Фенологическое проявление                                              | Технологическое следствие                                                                  |
|--------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Высокопродуктивная | Стабильно высокие значения NDVI | Понижения, аккумуляция влаги, гумуса и элементов питания | Увеличение высоты суданской травы до 207 см; повышение биомассы        | Использование потенциала зоны при контроле переувлажнения и уплотнения                     |
| Среднепродуктивная | Средние значения NDVI           | Водоразделы и слабые склоны, умеренное влагообеспечение  | Равномерные всходы пшеницы на водоразделах — 94–100 шт./м <sup>2</sup> | Влагосбережение, рациональное удобрение, поддержание структуры                             |
| Низкопродуктивная  | Низкие значения NDVI            | Склоны, эрозионный снос, опесчаненность, солонцеватость  | Снижение густоты и высоты растений, высокая вариабельность             | Почвозащитная обработка, мелиоративно-адаптивный режим, ограничение интенсивных технологий |

Первый тип – высокопродуктивные зоны аккумулятивного характера. Они чаще связаны с пониженными элементами рельефа, где формируются лучшие условия влагонакопления, повышенное содержание гумуса и элементов питания. Для таких зон характерны более высокие NDVI-значения, диапазоны 0,65–0,75.

Второй тип – среднепродуктивные зоны водораздельного и слабосклонового положения. Эти участки могут обеспечивать равномерные всходы пшеницы и льна, но при недостатке влаги или низком содержании азота их продуктивность ограничивается. Для таких зон требуется сохранение влаги, рациональное питание и минимизация механической нагрузки.

Третий тип – низкопродуктивные зоны склонов, опесчаненных и солонцеватых участков. Они связаны с эрозионным сносом, низкой влагоемкостью, снижением гумуса и питательных элементов. Эрозионные склоны характеризуются низким содержанием гумуса менее 2 % и NDVI менее 0,4.

### Обсуждение.

Полученные результаты подтверждают, что NDVI-зоны продуктивности в условиях южных чернозёмов Костанайской области формируются под воздействием комплекса факторов, среди которых ведущими, являются микрорельеф, влагообеспеченность, агрохимическое состояние пахотного слоя и биологические особенности культуры. NDVI в данном случае выступает не конечным результатом исследования, а интегральным индикатором, который требует агроэкологического объяснения.

Наиболее важный методический результат состоит в том, что одни и те же элементы релье-

фа по-разному проявляются в зависимости от культуры. Понижения обеспечивали высокую высоту суданской травы, что связано с дополнительным увлажнением. Однако для пшеницы понижения не были однозначно благоприятными: густота стояния снижалась до 33–50 шт./м<sup>2</sup>, а высота растений в понижениях составляла 52–64 см. Это указывает на то, что дополнительное увлажнение может быть положительным фактором для кормовых культур, но не всегда оптимально для зерновых, особенно при переувлажнении верхних горизонтов, уплотнении или неблагоприятном воздушном режиме.

Связь между NDVI и агрохимическими показателями также имеет сложный характер. На участках с более высоким содержанием гумуса и азота фотосинтетическая активность возрастает до определенного оптимума, после чего зависимость стабилизируется. Оптимальная зона определена при содержании гумуса 3,5–4,0 % и азота 7–9 мг/кг. Это важно для практики, поскольку простое увеличение доз удобрений не гарантирует линейного роста NDVI и продуктивности. Эффект питания реализуется только при благоприятном сочетании влаги, структуры почвы, рельефа и культуры.

Поле №33 представляет особый интерес как пример ограниченно пригодных земель. Низкое содержание гумуса, более низкое содержание обменного калия, легкий гранулометрический состав, солонцеватость и подстиление опесчаненных пород с глубины 60–70 см формируют устойчивые ограничения для продуктивности. Применение мелиоранта на солонцовом участке способствовало увеличению содержания органического вещества на 0,2–0,3 %, частичному замещению Na<sup>+</sup> в почвенно-поглощающем комплексе, улучшению структурного состояния, активизации минерализации органического азота и нитрификации, что сопровождалось увеличением содержания азота на 3–4 мг/кг и повышением продуктивности суданской травы. Это подтверждает, что для таких земель приоритетом является не повышение технологической интенсивности, а адаптивно-мелиоративный режим использования.

Сравнение NDVI-зон с морфометрическими параметрами показывает, что поля средней расчлененности требуют особого внимания к почвозащитной организации. На полях №67–70 и №18 значительная доля склонов 1–2° и 2–3° указывает на риск перераспределения влаги и питательных веществ. На таких участках интенсивная механическая обработка может усиливать эрозионный снос и снижать устойчивость агроландшафта.

Теоретическая значимость исследования заключается в уточнении методологии агроэкологической интерпретации NDVI. В отличие от подхода, при котором NDVI используется только для выделения зон высокой и низкой продуктивности, предложенная логика включает четыре последовательных уровня: дистанционный сигнал, рельефно-почвенное объяснение, агрохимическое подтверждение и биологическую верификацию через растение. Такой подход соответствует принципам адаптивно-ландшафтного земледелия, где технологическое решение принимается не по среднему полю, а по агроэкологически однородным участкам.

Практическая значимость состоит в возможности использования верифицированных NDVI-зон для проектирования управленческих зон внутри поля. Высокопродуктивные зоны могут использоваться для реализации потенциала культуры при контроле переувлажнения и уплотнения. Среднепродуктивные зоны требуют поддерживающей технологии: влагосбережения, сбалансированного питания, сохранения структуры почвы. Низкопродуктивные зоны требуют почвозащитной обработки, ограничения интенсивного рыхления, сохранения стерни, мелиоративных мероприятий или изменения культуры.

Ограничением исследования является отсутствие единой координатно связанной базы, в которой каждой точке NDVI соответствовали бы значения гумуса, N-NO<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, влажности, густоты стояния, высоты растений и урожайности. Поэтому выполненная верификация имеет сравнительно-агроэкологический характер, а построение прогнозной модели требует расширения базы наблюдений.

### **Выводы.**

Проведенная агроэкологическая верификация показала, что зоны продуктивности, выделенные по NDVI на полях ТОО «Олга-Садчиковское», имеют устойчивую пространственную структуру и отражают влияние стабильных почвенно-рельефных факторов, а не только погодных условий отдельного года: стабильная площадь зон продуктивности составила 72 % на поле №67–71, 43 % на поле №18 и 58 % на поле №90. Одним из ведущих факторов формирования продуктивности выступает микрорельеф: положительные формы рельефа чаще характеризуются дефицитом влаги, тогда как пониженные элементы обеспечивают дополнительное увлажнение, аккумуляцию растительной биомассы и более высокие значения NDVI. Агрохимическое состояние пахотного слоя существенно различалось между

полями; наиболее выраженные ограничения установлены на поле №33, где содержание гумуса составило  $1,84 \pm 0,24$  %, обменного калия —  $575,00 \pm 178,64$  мг/кг, что связано с солонцеватостью, легким гранулометрическим составом и подстиланием опесчаненными породами с глубины 60–70 см, тогда как более благоприятные показатели плодородия отмечены на полях №18, №67–71 и №90. Рельефо-обусловленное перераспределение элементов питания подтверждается содержанием подвижного калия: на склонах оно составило 650 мг/кг, на водоразделах — 800 мг/кг, в понижениях — 950 мг/кг, что указывает на роль склоновых процессов, аккумуляции тонкодисперсных частиц и органического вещества в формировании агрохимической неоднородности. Фенологическая реакция культур подтвердила необходимость биологической верификации NDVI-зон: суданская трава проявила высокую отзывчивость на дополнительное увлажнение понижений, достигая высоты до 207 см, пшеница формировала наиболее равномерные всходы на водоразделах и слабых склонах, а лен масличный демонстрировал выраженную изменчивость густоты и высоты растений в зависимости от поля и микрорельефа. Полученные результаты показывают, что NDVI-зоны продуктивности не могут использоваться как самостоятельный агрономический диагноз; их практическая ценность возникает при сопряжении с данными рельефа, агрохимического анализа, влажности почвы и фенологической реакции культур. Для условий южных чернозёмов Костанайской области верифицированные NDVI-зоны целесообразно использовать как основу для выделения управленческих участков в адаптивно-ландшафтной системе земледелия: в высокопродуктивных зонах необходимо реализовывать потенциал культуры при контроле переувлажнения и уплотнения, в среднепродуктивных — применять влагосберегающие и поддерживающие технологии, в низкопродуктивных — использовать почвозащитную обработку, мелиоративно-адаптивные мероприятия и корректировку структуры культур. Дальнейшие исследования в Республике Казахстан должны быть направлены на формирование единой координатно связанной базы данных, включающей NDVI, цифровую модель рельефа, агрохимические показатели, влажность почвы, урожайность и фенологические параметры, что позволит перейти от описательной агроэкологической верификации к прогнозным моделям управления продуктивностью пашни.

#### REFERENCES

- Aghaloo, K., & Sharifi, A. (2023). A GIS-based agroecological model for sustainable agricultural production in arid and semi-arid areas: The case of Kerman Province. — Iran. *Current Research in Environmental Sustainability*. 6. 100230. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2023.100230>
- Arystanov, A., Sagin, J., Karabkina, N., Arystanova, R., Yermekov, F., Kabzhanova, G., Bekseitova, R., Aktymbayeva, A., & Kutymova, N. (2025). Automatic classification of agricultural crops using Sentinel-2 data in the rainfed zone of Southern Kazakhstan. *Agronomy*, 15(9), 2040. <https://doi.org/10.3390/agronomy15092040>
- Ali, A., Rondelli, V., Martelli, R., Falsone, G., Lupia, F., & Barbanti, L. (2022). Management zones delineation through clustering techniques based on soils traits, NDVI data, and multiple year crop yields. *Agriculture*. 12(2). 231. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020231>
- Bhatti, M.T., Gilani, H., Ashraf, M., Iqbal, M.S. & Munir, S. (2024). Field validation of NDVI to identify crop phenological signatures. *Precision Agriculture*. 25. 2245–2270. <https://doi.org/10.1007/s11119-024-10165-6>
- Chebykina, E.Y., Bykova, G.S. & Karmanov, I.I. (2024). Agroecological assessment of arable lands in the Leningrad Region of Russia under the influence of climate change. *Agronomy*. 14(9). 2113. <https://doi.org/10.3390/agronomy14092113>
- Dogar, S.S., Brogi, C., O’Leary, D., Hernández-Ochoa, I.M., Donat, M., Vereecken, H., & Huisman, J.A. (2025). Combining electromagnetic induction and satellite-based NDVI data for improved determination of management zones for sustainable crop production. *SOIL*. 11. 655–679. <https://doi.org/10.5194/soil-11-655-2025>
- Fadl, M.E., AbdelRahman, M.A.E., El-Desoky, A.I., & Sayed, Y.A. (2024). Assessing soil productivity potential in arid region using remote sensing vegetation indices // *Journal of Arid Environments*. 222. 105166. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2024.105166>
- Kiryushin, V.I. & Ivanov, A.L. (Eds.). (2005). *Agroekologicheskaya otsenka zemel’, proektirovanie adaptivno-landshaftnykh sistem zemledeliya i agrotekhnologii* [Agroecological land assessment, design of adaptive landscape farming systems and agrotechnologies]. — M.: Rosinformagrotekh. [in Russ.].
- Kiryushin, V.I., Dubachinskaya, N.N., & Yurova, A. Yu. (2021). Comprehensive assessment of agricultural land by the example of the Southern Urals. *Eurasian Soil Science*. 54(11). 1721–1731. <https://doi.org/10.1134/S1064229321110089>
- Khutuev, A.M., Zamilov, A.Kh., Tutukova, D.A., & Savin, I.Yu. (2024). NDVI posevov kak distantsionnyi indikator kachestva pakhotnykh pochv [NDVI of crops as a remote indicator of arable soils quality]. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 121. 70–85. [in Russ.]. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2024-121-70-85>
- Kabzhanova, G., Arystanova, R., Bissembayev, A., Arystanov, A., Sagin, J., Nasyiev, B., & Kurmasheva, A. (2025). Remote sensing applications for pasture assessment in Kazakhstan. *Agronomy*. 15(3). 526. <https://doi.org/10.3390/agronomy15030526>
- Ormanci, I.F., & Dengiz, O. (2025). Establishing and verifying soil quality index model based on GIS and remote sensing for cultivated lands under semi-humid terrestrial ecosystem // *International Soil and Water Conservation Research*. 13(2). 379–394. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2024.10.004>
- Skakun, S., Kalecinski, N.I., Brown, M.G.L., Johnson, D.M., Vermote, E.F., Roger, J.C., & Franch, B. (2021). Assessing within-field corn and soybean yield variability from WorldView-3, Planet, Sentinel-2, and Landsat 8 satellite imagery. *Remote Sensing*. 13(5). 872. <https://doi.org/10.3390/rs13050872>
- Serrano, J., Shahidian, S., Paixão, L., da Silva, J.M., & Moral, F. (2022). Management zones in pastures based on soil apparent electrical conductivity and altitude: NDVI, soil and biomass sampling validation. *Agronomy*. 12(4). 778. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040778>
- Shaimerdenova, A., Abdireimov, S., Ashimkhan, N., Zhumakan, A., Auesbekov, N., Kaisanova, A., Vagapova, A., Stepanova, D., Satvaldiyev, B., Ussarov, U., Bektanov, B., & Kenzhalieva, G. (2026). Spatial assessment of soil fertility using GIS and remote sensing: A case

study of Southern Kazakhstan // SABRAO Journal of Breeding and Genetics. 58(1). 474–485. <https://doi.org/10.54910/sabrao2026.58.1.44>

Tokbergenova, A., Kaliyeva, D., Zulpykharov, K., Taukebayev, O., Salmurzauly, R., Assanbayeva, A., Mukhtarov, U., Bilalov, B., & Tokkozhayev, D. (2025). Spatiotemporal assessment of climate change impacts on pasture ecosystems in Central Kazakhstan using remote sensing and spatial analysis. *Sustainability*. 17(22). 10331. <https://doi.org/10.3390/su172210331>

Tiruneh, G.A., Meshesha, D.T., Adgo, E., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Fenta, A.A., Alemayehu, T.Y., Mulualet, T., Fekadu, G., Demissie, S. & Reichert, J.M. (2023). Mapping crop yield spatial variability using Sentinel-2 vegetation indices in Ethiopia // *Arabian Journal of Geosciences*. 16. 631. <https://doi.org/10.1007/s12517-023-11754-x>

Vanderlinden, K., Martínez, G., Ramos, M., et al. (2024). Relevance of NDVI, soil apparent electrical conductivity and topography for variable rate irrigation zoning in an olive grove. *Precision Agriculture*. 25. 3086–3108. <https://doi.org/10.1007/s11119-024-10191-4>

Yli-Heikkilä, M., Wittke, S., Luotamo, M., Puttonen, E., Sulkava, M., Pellikka, P., Heiskanen, J., & Klami, A. (2022). Scalable crop yield prediction with Sentinel-2 time series and temporal convolutional network. *Remote Sensing*. 14(17). 4193. <https://doi.org/10.3390/rs14174193>

Zhang, X., Ma, Y., Ma, S., Qin, C., Wang, Y., Liu, H., Chen, L., & Zhu, X. (2025). Mapping soil available nitrogen using crop-specific growth information and remote sensing. *Agriculture*, 15(14), 1531. <https://doi.org/10.3390/agriculture15141531>

**Ержан Ділмұрат Ержанұлы** — разработка методологии исследования, сбор экспериментальных данных, подготовка обзора литературы, статистический анализ, обработка материала, написание текста статьи.

**Куришбаев Акылбек Кажигулович** — разработка методологии исследования, формулировка целей и задач исследования.

**Киришин Валерий Иванович** — разработка методологии исследования, формулировка целей и задач исследования.

**Алманова Жанна Сарсимбаевна** — разработка методологии исследования, формулировка целей и задач исследования, статистический анализ, обработка материала, написание текста статьи.



*M.M. Zhanzakov<sup>1</sup>, K.A. Myrzabek<sup>2\*</sup>, K.B. Begaliev<sup>3</sup>, R.D. Nurymova<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Kyzylorda University «Bolashak», Kyzylorda, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Republic of Kazakhstan;

<sup>3</sup>Kazakh Scientific Research Institute of Rice Growing named after Y. Zhakayev;

<sup>4</sup>Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Republic of Kazakhstan.

E-mail: [karima.myrzabek@kaznaru.edu.kz](mailto:karima.myrzabek@kaznaru.edu.kz)

## TECHNOLOGY OF CULTIVATING AND PROPAGATING BANANAS RHIZOMES A POLYCARBONATE GREENHOUSE COMPLEX

**Zhanzakov Marat Myktybaevich**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of «Natural Sciences and Sports», Kyzylorda University «Bolashak», 120000, Left shore, 115, Kyzylorda, Kazakhstan

E-mail: [03886255@mail.ru](mailto:03886255@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0008-0842-8868>;

**Myrzabek Karima**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of «Agronomy, breeding and biotechnology», «Kazakh National Agrarian Research University» NLC, 050010, Abay avenue, 8, Almaty, Kazakhstan

E-mail: [karima.myrzabek@kaznaru.edu.kz](mailto:karima.myrzabek@kaznaru.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-0588-6659>;

**Begaliev Kanagat Bilalovich**, Candidate of Agricultural Sciences, Head of Department Kazakh Research Institute of Rice Growing named after I. Zhakhaev, 120000, Abai Kunanbaev Avenue 25b, Kyzylorda, Kazakhstan

E-mail: [Begaliev.54@mail.ru](mailto:Begaliev.54@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0008-0842-8868>;

**Nurymova Raushan Duysenovna**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the EP «Agricultural technologies», «Korkyt Ata Kyzylorda University» NLC, 120014, Kyzylorda, Aiteke bi str., 29A, Kazakhstan

E-mail: [nurymova.raushan@inbox.ru](mailto:nurymova.raushan@inbox.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9647-7959>.

**Abstract.** In response to modern demands, agriculture has begun to explore new directions. The production of bananas, which are in high demand on the global market, is a striking result of this search. Bananas are often seen as a gift from distant lands, and yet we have begun to grow them ourselves. This is a new milestone, a new breath of fresh air for the country's agro-industrial complex. Therefore, in recent years, the domestic agricultural sector has seen a growing stream of bold and new initiatives. Bananas, which are plants native only to tropical countries, are now grown in greenhouses in southern Kazakhstan – in the Turkestan and Kyzylorda regions. This is not only experience in the agricultural sector, but also a bold and ambitious vision for a strategic step aimed at ensuring the country's food security. Today, such innovative projects demonstrate concrete results of policies to diversify agriculture, reduce import dependence, and develop domestic production. In principle, this process - growing bananas in a greenhouse – requires a special approach and knowledge, as the tropical plant requires favorable growing conditions in an unfamiliar climate. Modern research is also aimed at adapting bananas to artificial conditions. Of course, introducing banana plants and incorporating new elements into their cultivation technology requires considerable thought and effort. Furthermore, the primary material plays a major role in this process - the correct selection of banana varieties suitable for greenhouse cultivation. Academician N.I. Vavilov once said that the success of selection depends on the source material.

**Keywords:** banana, rhizome, root sucker, seedling, polycarbonate greenhouse, diseases-pests, rhizome propagation

**For citation:** Zhanzakov M.M., Myrzabek K.A., Begaliev K.B., Nurymova R.D. (2026). Technology of cultivation and propagation of banana by rhizomes in a polycarbonate greenhouse complex // Research, results – Изденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 90–103. <https://doi.org/10.37884/4-2026/07> [In Kaz.].

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgment.** *The authors express their sincere gratitude to the staff of Kyzylorda “Bolashak” University for their support and assistance provided during the scientific research work.*

*Special appreciation is extended to the founder of Kyzylorda “Bolashak” University, statesman, Professor, Doctor of Economics Bakbergen Sarsenuly Dosmanbetov, for his assistance, scientific guidance, and valuable recommendations.*

**М.М. Жанзақов<sup>1</sup>, К.А. Мырзабек<sup>2\*</sup>, Қ.Б. Бегалиев<sup>3</sup>, Р.Д. Нұрымова<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Қызылорда «Болашақ» университеті, Қызылорда, Қазақстан;

<sup>2</sup>Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан;

<sup>3</sup>Ы. Жақаев атындағы Қазақ күріш шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты, Қызылорда, Қазақстан;

<sup>4</sup>Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан.

E-mail: karima.myrzabek@kaznaru.edu.kz, 770122008008

## **БАНАН ӨСІМДІГІН ПОЛИКАРБОНАТТЫ ЖЫЛЫЖАЙДА ӨСІРУ ЖӘНЕ ТАМЫР ӨСКІНІМЕН КӨБЕЙТУ**

**Жанзақов Марат Мықтыбаевич**, ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, «Жаратылыстану және спорт» кафедрасының доценті, Қызылорда «Болашақ» университеті, 120000, Сол жағалау, 115, Қызылорда, Қазақстан

E-mail: 03886255@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-0842-8868>;

**Мырзабек Карима Аймаханқызы**, ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КеАҚ, 050010, Абай даңғылы, 8, Алматы, Қазақстан

E-mail: karima.myrzabek@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0588-6659>;

**Бегалиев Қанағат Білалович**, ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, Ы.Жақаев атындағы Қазақ күріш шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты, бөлім меңгерушісі, 12000, Абай даңғылы, 25б, Қызылорда, Қазақстан

E-mail: Begaliev.54@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-0842-8868>;

**Нұрымова Раушан Дуйсеновна**, ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, «Аграрлық технологиялар» БББ-ның қауымдастырылған профессоры, «Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті» КеАҚ, 120014, Әйтеке би көшесі, 29А, Қызылорда, Қазақстан

E-mail: nurymova.raushan@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9647-7959>.

**Аннотация.** Бүгінде ауыл шаруашылығы саласы заман талабына сай жаңаша бағыттар мен технологияларды игеруге бет бұра бастады. Соның жарқын мысалы – әлемдік нарықта сұранысы жоғары банан дақпын елімізде өсіру бастамасы. Көпшілігіміз үшін банан – алыстағы елдердің сыйы секілді көрінетін, оны енді өзіміз де өсіре бастадық. Бұл – еліміздің агроөнеркәсіп саласындағы жаңа белес, жаңа тыныс. Сондықтан, соңғы жылдары отандық агросекторда батыл әрі тың бастамалар легі артып келеді. Тропикалық аймақтағы елдерге ғана тән өсімдік саналатын банан, енді оңтүстік Қазақстанда – Түркістан мен Қызылорда облыстарында жылыжайлық жағдайда өсіріліп жатыр. Бұл тек аграрлық саладағы тәжірибе ғана емес, еліміздің азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етуге бағытталған стратегиялық қадамның батыл да ауқымды көрінісі. Бүгінде мұндай жаңашыл жобалар ауыл шаруашылығын әртараптандыру, импортқа тәуелділікті азайту және отандық өндірісті дамыту саясатының нақты нәтижесін көрсетіп отыр. Негізінде бұл процесс – бананды жылыжайда өсіру, ерекше көзқарас пен білімді талап етеді, өйткені тропикалық өсімдік бейтаныс климатта қолайлы өсу жағдайларын қажет етеді, заманауи зерттеулер де банандарды жасанды жағдайларға бейімдеуге бағытталған. Әрине, банан өсімдігін интродукциялау, оны өсірудің технологияларына тың буындар мен элементтер енгізу жұмыстарын атқару көп ақыл-ой мен күш жігерді талап етеді. Сонымен қатар, бұл шараны атқаруда бастапқы ма-

териал - бананның жылыжайға ыңғайлы сорттарын дұрыс таңдау-сұрыптау да үлкен роль ойнайды. Селекцияның жетістігі бастапқы материалға байланысты екенін академик Н.И. Вавилов та кезінде айтып кеткен.

**Түйін сөздер:** банан, тамырсабақ, тамырөскін, тікпе көшет, поликарбонатты жылыжай, ауру-зиянкес, тамырөскінімен көбею

**Дәйексөз үшін:** Жанзақов М.М., Мырзабек К.А., Бегалиев Қ.Б., Нұрымова Р.Д. (2026). Банан өсімдігін поликарбонатты жылыжайда өсіру және тамырөскінімен көбейту // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 90–103. <https://doi.org/10.37884/4-2026/07> [In Kaz.].

**Мүдделер қақтығысы:** авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

**Алғыс.** Авторлар ғылыми зерттеу жұмыстарын жүргізу барысында көрсеткен қолдауы мен көмегі үшін Қызылорда «Болашақ» университеті ұжымына шынайы алғыс білдіреді.

Қызылорда «Болашақ» университетінің құрылтайшысы Мемлекет қайраткері, профессор, экономика ғылымдарының докторы Бақберген Сарсенұлы Досманбетовке көрсеткен көмегі, ғылыми кеңестері мен құнды ұсыныстары үшін ерекше ризашылық білдіреді.

**М.М. Жанзақов<sup>1</sup>, К.А.Мырзабек<sup>2\*</sup>, К.Б.Бегалиев<sup>3</sup>, Р.Д.Нұрымова<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Қызылординский университет «Болашақ», Қызылорда, Казахстан;

<sup>2</sup>Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан;

<sup>3</sup>Казахский научно-исследовательский институт рисоводства им.Б.И. Жакаева, Кызылорда, Казахстан;

<sup>4</sup>Қызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан.

E-mail: karima.myrzabek@kaznaru.edu.kz

## ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ И РАЗМНОЖЕНИЯ БАНАНА КОРНЕВИЩАМИ В ПОЛИКАРБОНАТНОМ ТЕПЛИЧНОМ КОМПЛЕКСЕ

**Жанзақов Марат Мыктыбаевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Естествознания и спорт» Кызылординского университета «Болашақ», 120000, Левый берег, 115, Кызылорда, Казахстан

E-mail: 03886255@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-0842-8868>;

**Мырзабек Карима Аймаханқызы**, кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор кафедры «Агрономия, селекция и биотехнология», НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», 050010, пр. Абая, 8, Алматы, Казахстан

E-mail: karima.myrzabek@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0588-6659>;

**Бегалиев Канагат Билалович**, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий отделом Казахский научно-исследовательский института рисоводства им. И. Жахаева, 120000, проспект Абай Кунанбаева, 256, Кызылорда, Казахстан

E-mail: Begaliev.54@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-0842-8868>;

**Нұрымова Раушан Дуйсеновна**, кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор ОП «Аграрные технологии», НАО «Кызылординский университет имени Коркыт Ата», 120014, ул. Айтеке би, 29А, Кызылорда, Казахстан

E-mail: nurymova.raushan@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9647-7959>.

**Аннотация.** В соответствии с современными требованиями сельское хозяйство начало искать новые направления. Производство бананов, пользующихся высоким спросом на мировом рынке, – яркий результат этого поиска. Бананы многим кажутся подарком далеких стран, но теперь мы сами начали их выращивать. Это новая веха, новое дыхание в агропромышленном комплексе страны. Поэтому в последние годы в отечественном агросекторе растет поток смелых и новых инициатив. Бананы, которые являются растениями, характерными только для стран тропического региона, теперь выращиваются в тепличных условиях в южном Казахстане – Туркестанской и Кызылординской областях. Это не только опыт в аграрной сфере, но и смелое и масштабное видение стратегического шага, направленного на обеспечение продовольственной безопасности страны. Сегодня такие новаторские проекты показывают конкретные результаты политики диверсификации сельского хозяйства, снижения импортозависимости.

мости и развития отечественного производства. В принципе, этот процесс – выращивания бананов в теплице – требует особого отношения и знаний, так как тропическое растение требует благоприятных условий роста в незнакомом климате, современные исследования также направлены на адаптацию бананов к искусственным условиям. Конечно, интродукция растений банана, внедрение новых звеньев и элементов в технологии его выращивания требует много ума и усилий. Наряду с этим большую роль в выполнении данного мероприятия играет первичный материал – правильный выбор подходящих для теплицы сортов бананов. О том, что успех селекции зависит от исходного материала, говорил в свое время академик Н.И. Вавилов.

**Ключевые слова:** банан, корневище, корнеотпрыск, саженец, теплица из поликарбоната, болезнь-вредитель, размножение корневищем

**Для цитирования:** Жанзаков М.М., Мырзабек К.А., Бегалиев Қ.Б., Нұрымова Р.Д. (2026). Технология возделывания и размножения банана корневищами в поликарбонатном тепличном комплексе // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 4. Number 112. Рр. 90–103. <https://doi.org/10.37884/4-2026/07> [In Kaz.].

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Благодарность.** Авторы выражают искреннюю признательность коллективу Кызылординского университета «Болашақ» за поддержку и помощь, оказанные при проведении научно-исследовательской работы.

Особая благодарность выражается учредителю Кызылординского университета «Болашақ», государственному деятелю, профессору, доктору экономических наук Бакбергену Сарсеновичу Досманбетову за оказанную помощь, научные консультации и ценные рекомендации.

## Кіріспе.

Банан (*Musa spp.*) – *Musaceae* тұқымдасына жататын көпжылдық шөптесін өсімдік болып табылады. Көпшілік арасында оның өнімі жеміс ретінде қабылданғанымен, ботаникалық тұрғыдан банан жидек түріне жатады. Бұл өсімдік әлемнің көптеген елдерінде кеңінен өсіріліп, аса маңызды азық-түлік дақылдарының бірі саналады. Танымалдығы жағынан банан ауыл шаруашылығы өнімдерінің ішінде бидай, күріш және жүгеріден кейінгі жетекші орындардың бірін иеленеді. Құрамындағы көмірсулар, дәрумендер мен минералдық заттардың мол болуы оны күнделікті тұтытуда сұранысқа ие етеді. Банан жаңа күйінде де, түрлі тағамдар мен кондитерлік өнімдерді дайындауда да кеңінен пайдаланылады. Әлем халқының бұл өнімді көп мөлшерде тұтынуына байланысты жыл сайын дүниежүзінде 100 миллиардтан астам банан желінеді [Ahmed, 2014: 965–967; Mansur, 2023: 1–16].

Бананның шығу тегі туралы ғалымдар арасында ортақ пікір бар, олардың көпшілігі Малай архипелагі мен Океания аймақтарын бұл жемістің бастапқы отаны деп есептейді. Зерттеушілердің пайымдауынша, адамзат банан өсіруді өте ерте кезеңдерде, шамамен біздің дәуірімізге дейінгі бес мыңжылдықта бастаған. Сонымен қатар кейбір ғылыми деректерде бананның одан да ертерек, яғни Папуа-Жаңа Гвинея аумағында біздің дәуірімізге дейінгі сегіз мыңжылдықта-ақ мәдени дақыл ретінде қолға үйретілгені туралы мәліметтер келтіріледі. Бұл оның ежелгі әрі кең таралған өсімдіктердің бірі екенін көрсетеді [Najarian, 2022: 107–112; Singh, 2011: 94]. Көпшілік арасында бананның отаны Африка деп қате пікір қалыптасқанымен, шын мәнінде оның түпкі шыққан жері Малай архипелагы болып саналады. Банан – адамзат ерте кезеңде-ақ мәдени түрде өсіре бастаған ең көне жемістердің бірі. Тарихи деректерге сүйенсек, теңіз саяхатшылары мен зерттеушілер жаңа құрлықтарды игеру барысында бананды алғаш рет Канар аралдарына, кейін Вест-Индияға және одан әрі Солтүстік Америкаға таратқан. Еуропа елдері банан дәмімен тек XIX ғасырда ғана танысты. Бұл кезеңде темір жолдардың дамуы мен тоңазытқыш жабдықтардың пайда болуы жемісті алыс қашықтыққа тасымалдауға және ұзақ уақыт сақтауға мүмкіндік берді, соның арқасында банан кеңінен тарала бастады [Razani, 2020: 183–192; Uzaribara, 2015: 221–224; Dewi, 2023; Samuel, 2025].

Қазақстан нарығына банан негізінен Эквадордан жеткізіледі, алайда бұл өнім Қытай, Ресей, Өзбекстан және басқа да мемлекеттерден импортталады. Қазақ тілінде бананның көне атауы – «мәуіз». Бұл атау Ұлы Жібек жолы дәуірінен бері қолданылып келеді, сондықтан банан қазақ халқына мүлде бейтаныс жеміс емес. Соңғы жылдары елімізде бананды жергілікті жағдайда өсіруге ерекше көңіл бөлінуде. Түркістан облысында банан өсіру тәжірибесі алғаш рет 2020 жылы қолға алынды. Жергілікті кәсіпкер Халима Сейіткерімова өз жылыжайында банан өсіріп, оң нәтижелерге қол жеткізді. Кейін-

нен бұл бастама кеңейіп, 2023 жылдан бастап Түркістан өңірінде банан өндірістік көлемде өсіріле бастады. Бұған дейін банан толықтай импорттық өнім саналған еді. Жылыжай шаруашылығының дамуы ішкі нарықты отандық өніммен қамтамасыз етуге мүмкіндік беріп, импортқа тәуелділікті біршама төмендетті. Қазіргі уақытта Түркістан және Қызылорда облыстарында бананның Анамус, Кавендиш және басқа да перспективалы сорттары табысты өсірілуде.

Түркістан облысындағы жылыжай кешендерінде өсірілген банандардың алғашқы өндірістік өнімі 2024 жылдың мамыр айында жиналды. Бұл отандық банан шаруашылығын дамыту жолындағы маңызды жетістіктердің бірі болды. Жоғары өнімділікке қол жеткізу мақсатында өсімдіктерді сумен және қоректік заттармен тиімді қамтамасыз ететін заманауи тамшылатып суару технологиясы пайдаланылды. Жобаның табысты жүзеге асуына экзотикалық жеміс дақылдарын жылыжай жағдайында өсіру бойынша мол тәжірибесі бар түрік мамандарының кеңестері мен технологиялық қолдауы ықпал етті. Мамандар Түркияның климаттық жағдайларына ұқсас өңірлерде банан өсірудің тиімді әдістерімен бөлісті. Өндірілген өнімнің жақын уақытта Алматы және Шымкент қалаларының нарықтарына шығарылуы жоспарланып отыр. Сонымен қатар, жергілікті бананның бағасы импорттық өнімге қарағанда қолжетімді болады деп күтілуде.

Банан – тропикалық аймақтарға тән өсімдік болғандықтан, оның қалыпты өсуі үшін нақты температуралық және ылғалдылық режимі қажет. Ауа температурасы кемінде 18°C деңгейінде сақталса, ал салыстырмалы ылғалдылық 40–100 % аралығында болса, банан өсімдігі қарқынды дамып, мол өнім береді. Сонымен қатар, ол өте жарық сүйгіш дақылдардың қатарына жатады, сондықтан фотосинтез процесінің тиімді жүруі үшін жылыжай ішінде жеткілікті деңгейде жарық қамтамасыз етілуі тиіс. Осындай қолайлы жағдайлар оның өсуі мен жеміс беруін айтарлықтай жақсартады [Hassan, 2022; Boronov, 2025: 15–21; Genet, 2026: 1–14].

Банан – жылу мен ылғалды ерекше жақсы көретін тропикалық өсімдік. Ол табиғи жағдайда ылғалы мол аймақтарда өседі және құрамының шамамен 80 пайызы судан тұрады. Өсімдікті дұрыс күтіп-баптау үшін топырақтың үстіңгі 4–5 см қабаты жартылай кеуіп үлгерген кезде ғана суару қажет. Көктемнен күзге дейінгі белсенді өсу кезеңінде банан мол әрі тұрақты суаруды талап етеді, бірақ тамырдың шіріп кетуіне әкелетін артық ылғалдың жиналуына жол бермеу маңызды. Ал күзден көктемге дейінгі тыныштық кезеңінде суару мөлшері біртіндеп азайтылады. Температура төмендеген сайын суару жиілігі де қысқартылуы керек. Суару арасында топырақтың беткі қабаты аздап кебуі тиіс. Өсімдікті суару үшін қоршаған орта температурасынан сәл жылырақ, тұндырылған әрі жұмсақ су пайдаланылады [Md Abdus Salam, 2026: 93–100; Pithiya, 2025: 200–204].

Банан өсімдігі қолайлы, жылы климат жағдайында өте қарқынды дамып, шамамен әр 10 күн сайын жаңа жапырақ түзіп отырады. Вегетациялық даму кезеңінде оның өсуі органикалық заттардың әсерімен күшейеді, сондықтан қоректендіру жүйесінде минералды және органикалық тыңайтқыштарды алмастырып қолдану тиімді болып саналады. Мұндай тыңайтқыштарға биогумус, лигногумат, калий гуматы сияқты табиғи қоспалар жатады немесе орғано-минералды кешендер пайдаланылуы мүмкін. Өсімдікті үстеп қоректендіру әдетте айына екі рет жүргізіледі. Алайда егер банан қажетті биіктікке жетіп, оның әрі қарай өсуін шектеу қажет болса, қоректендіру біртіндеп тоқтатылып, өсімдіктің даму қарқыны реттеледі.

### **Зерттеу материалдары, орны, мақсаты мен міндеттері.**

Банан өсімдігі Қызылорда облысының табиғи топырақ-климаттық жағдайында өсіруге қолайсыз тропикалық дақыл болып саналады. Оның биологиялық ерекшеліктеріне байланысты қалыпты дамуы үшін тұрақты түрде 20–30°C аралығындағы температура қажет. Алайда Сыр өңірінің географиялық ендігінде мұндай жылу режимі жыл бойы сақталмайды, сондықтан банан өсіру мүмкіндігін зерттеу мақсатында арнайы ғылыми жағдайлар жасалды. Осыған байланысты зерттеу жұмыстары университеттің сегіз секциядан тұратын поликарбонатты жылыжай кешенінде жүргізілді. Бұл жылыжай конструкциясы сыртқы табиғи әсерлерге, соның ішінде күшті жел мен қар жүктемесіне жоғары төзімділігімен ерекшеленеді. Сонымен қатар ол өсімдікке қажетті микроклиматты тұрақты ұстап тұруға мүмкіндік береді. Нәтижесінде жылыжай ішінде банан өсімдігінің қалыпты өсуі мен дамуына қолайлы температуралық режим жыл бойы қамтамасыз етіледі.

Зерттеудің мақсаты мен міндеттері: сыр өңірі жағдайында тропикалық дақыл саналатын бананды жылыжайда өсіріп, экологиялық таза әрі балғын өнім алу және оның вегетативті көбейту технологиясын меңгеру. Осы міндетті жүзеге асыру үшін 2022 жылы Қызылорда облысына жақын орналасқан

Түркістан облысындағы жеке жылыжай шаруашылығының тұқымдық питомнигінен алынған бананның «Анамус» сорты пайдаланылды. Биіктігі 40–50 см болатын тікпе көшеттер университеттің жылыжай кешеніндегі секцияларға тік қатармен отырғызылды. Қатар аралығы мен қатар бойы 0,30 м етіп белгіленіп, өсімдіктердің қалыпты дамуына жағдай жасалды. Отырғызудан кейін ұялардың жанынан суару мен күтімге ыңғайлы болу үшін ұзын арық жүйесі жүргізілді. Жыл бойы өсімдіктерге фенологиялық бақылау жүргізіліп, агротехникалық күтіп-баптау жұмыстары тұрақты түрде орындалды.

Көбейту мақсатында қолданылатын көшеттік өскіндер аналық өсімдіктің жанынан пайда болған өркендерден алынды. Олар әртүрлі даму кезеңдерінде мұқият қазылып алынып, аналық сабағынан зақым келтірмей ажыратылды. Дайындалған өскіндер алдын ала әзірленген жылыжай ұяларына отырғызылды. Ал тым кішкентай, әлсіз өскіндер алдымен қоректік субстратта өсіріліп, жетілдірілгеннен кейін ғана тұрақты орынға көшірілді. Бұл әдіс көшеттердің бейімделуін арттырып, олардың әрі қарай қалыпты өсуіне қолайлы жағдай жасады.

Банан өсімдігінің қарқынды өсуі оның қоректік заттарға деген жоғары қажеттілігін көрсетеді, сондықтан тыңайтқыш беру жүйесі мұқият реттеледі. Жаз мезгілінде өсімдікті апта сайын үстеп қоректендіру ұсынылса, күзге қарай бұл жиілік айына бір ретке дейін азайтылады. Банан үшін азот, фосфор және калий элементтері теңгерімді түрде берілген минералдық және органикалық тыңайтқыштарды кезектестіріп қолдану тиімді саналады. Органикалық тыңайтқыштар (биогумус, қарашірік) топырақтың құрылымын жақсартып, оның құнарлылығын арттырады, олардың мөлшері 1 м<sup>2</sup> ұяға шамамен 10–12 литрді құрайды. Ал минералдық тыңайтқыштар (мочевина, суперфосфат, калий сульфаты) өсімдікке тез әсер етіп, қажетті элементтерді нақты дозада қамтамасыз етеді, жалпы есеппен 1 гектарға N-13 кг, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-40 кг, K<sub>2</sub>O-13 кг енгізіледі. Вегетациялық кезеңде үстеп қоректендіру әр екі апта сайын жүргізіліп, ал қазаннан наурызға дейінгі тыныштық кезеңінде толық тоқтатылады.

### Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау.

Банан өсімдігі табиғи жағдайда биіктігі 8 метрге дейін жеткенімен, оның тамыр жүйесі салыстырмалы түрде таяз орналасады және көбіне 30 см тереңдіктен аспайды. Осы ерекшелігіне байланысты оны отырғызу үшін аса үлкен немесе терең шұңқырлардың қажеті жоқ, күрек бойындай дайындалған ұялар жеткілікті болып саналады. Отырғызуға арналған көшеттердің мөлшері әртүрлі болуы мүмкін: олардың биіктігі шамамен 15 см-ден басталып, 1,5 метрге дейін жетеді. Алайда көшет ретінде пайдаланылатын ересек өсімдіктердің әлі жеміс бермегені маңызды шарт болып табылады. Қазып алынған банан көшеттері жаңа орынға көшірілер алдында сабағының орта тұсынан кесіліп, жапырақтары алынып тасталады. Тамырымен бірге дайындалған көшеттер қол арбамен тасымалданады. Отырғызу кезінде өсімдіктің тамыр бөлігі топырағымен бірге төменгі жағынан ұсталып, сабағы сынбауы үшін екінші қолмен орта тұсынан немесе сәл төменірек жерінен демеледі. Көшет ұяға орналастырылған соң, алдын ала дайындалған қоректік топырақ қоспасымен көміліп, соңынан молынан суарылады (сурет 1).



Сур. 1. Бананның жас тікпе көшеттері мен ересек өсімдіктерін ұяларға отырғызу  
[Fig. 1. Planting young upright seedlings and mature banana plants in nests]

Жылыжайға отырғызылған банан өсімдіктері арықтап та, ұялап та суарылады, одан басқа, жапырақтары аптап ыстықта күн сайын арнайы ранцалы бүріккіштер, немесе пульверизатормен сумен бүркіліп, ылғал күйде ұсталып тұрады. Бұл экзотты өсімдіктің ересектері ғана емес, кішкене көшеттік өсімдіктері де сумен бүркігенді жақсы көреді. Жапырақтарды бүрку кешке қарай жүргізіледі.

Жылыжайда өсірілген банан өсімдіктері арық арқылы да, ұялап суару әдісімен де қамтамасыз етіледі. Сонымен қатар, аптап ыстық кезеңдерінде олардың жапырақтары күнделікті арнайы ранцалы бүріккіштер немесе пульверизатор көмегімен сумен ылғалдандырылып отырады. Мұндай бүрку өсімдіктің ылғалдылығын сақтап, қолайлы микроклимат қалыптастыруға көмектеседі. Бананның ере-

сек даралары ғана емес, сондай-ақ жас көшеттері де жапырақтарына су бүркілгенді жақсы қабылдайды. Бұл жұмыс көбіне күннің салқындау мезгілі - кешкі уақытта жүргізіледі, себебі ол булануды азайтып, судың тиімді сіңуіне жағдай жасайды [Жанзақов, 2025: 858–863; Cheng, 2024: 1–20]. Бүріккіш құралдардың көмегімен бананның жас көшеттері де, ересек өсімдіктері де сумен үнемі ылғалдандырылады. Сонымен бірге олар тамырдан тыс қоректендіру мақсатында микроэлементтік препараттардың ерітінділерімен де жүйелі түрде өңделіп, қосымша қоректік заттармен қамтамасыз етіледі (сурет 2).



Сур.2. Банан өсімдіктерін суару, жапырақтарын сумен бүрку және микроэлементті ерітінділермен тамырдан тыс бүркіп қоректендіру.

[Fig. 2. Watering banana plants, spraying their leaves with water and foliar feeding with microelement solutions].

Банан өсімдігін алғашқы суару кезеңінде топырақ молынан ылғалдандырылады, ал кейінгі суарулар топырақтың ылғалдылығына қарай жүргізіледі: егер өсімдік орналасқан жерді үш саусақпен қысқанда ылғал бөлінбесе, суару қажеттілігі туындайды. Суару процесі алдын ала тұндырылған, температурасы 25–30°C аралығындағы жылы сумен жүзеге асырылады. Бұл шөптесін көпжылдық өсімдік 18–30°C температуралық аралықта жақсы өсіп, қалыпты дамиды. Жылыжайдағы температура 18°C-тан төмендеген жағдайда, әсіресе қыс мезгілінде, тамыр жүйесінің шіруінің алдын алу мақсатында суару мөлшері едәуір азайтылады. Сонымен қатар, шамадан тыс суару бананға кері әсер етеді: жапырақтарының ұштары қоңырланып, кебе бастайды және өсімдік өсуін тоқтатуы мүмкін. Сондықтан суару режимін дұрыс сақтау оның жай-күйі мен өнімділігі үшін өте маңызды. Бананды өсіру үшін жылыжай ауасының ылғалдығын реттеу қажет емес. Олар қалыпты ылғалдылықта өсе береді. Ең бастысы - қыста жылыжай температурасын 15°C-тан төмен түсірмеу. Керісінше жағдайда өсімдік өсуін тоқтатады және тіпті өліп кетуі де мүмкін.

Банан өсімдігі жарықты жақсы көретін дақылдардың қатарына жатады, бірақ ол тікелей түскен күн сәулесінен гөрі шашыраңқы жарықта жақсы дамиды. Өсімдіктің қалыпты өсуі үшін күн ұзақтығы кемінде 12 сағат болуы қажет. Күн қысқаратын кезеңдерде, әсіресе күздің соңында, қыс мезгілінде және көктемнің басында жылыжай ішінде қосымша жасанды жарық көздері қолданылады. Жарық жеткіліксіз болған жағдайда фитолампарлар немесе әрбір 1 м<sup>2</sup> аумаққа кемінде 26 Вт қуат беретін флуоресцентті шамдар орнатылады. Бұлтты күндері де банан өсімдігі күніне 10–12 сағат аралығында жеткілікті жарықпен қамтамасыз етілуі тиіс. Сонымен қатар, өсімдіктің дұрыс дамуы мен аурулардың алдын алу үшін жылыжай ішіндегі ауа алмасуын қамтамасыз етіп, жүйелі түрде желдету жүргізіледі.

Банан өсімдігін ыстық ауа райы кезінде тікелей күн сәулесінің әсерінен қорғау маңызды, себебі күшті жарық жапырақтардың күйіп кетуіне әкелуі мүмкін. Осы мақсатта жылыжайда көлеңкелеу жүйесі қолданылады, яғни жарықты ішінара азайту шаралары жүргізіледі. Дегенмен банан дақылы жоғары жарық сүйгіш болғандықтан, толық көлеңке жасауға болмайды, тек жарық мөлшерін теңгерімді деңгейде сақтау қажет. Бұл өсімдіктің қалыпты фотосинтезін қамтамасыз етеді (сурет 3).

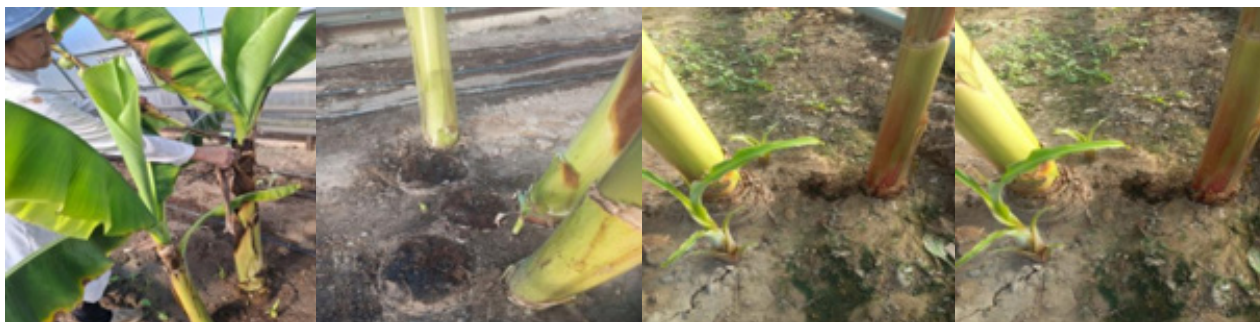
Банан өсімдігі қолайлы жағдайларда өте қарқынды өсіп, шамамен әр он күн сайын жаңа жапырақ түзеді. Алайда бананның жасы жапырақ санына тікелей байланысты емес, себебі олардың саны өсімдіктің жалпы даму кезеңіне және өсу қарқынына қарай өзгеріп отырады. Өсімдіктің жасын анықтауда негізгі көрсеткіш ретінде отырғызылған уақыт, гүлдеу мерзімі және жеміс беру кезеңі есепке алынады. Сондықтан бананның даму сатылары арқылы оның биологиялық жасы бағаланады. Әдетте, биіктігі 50–70 см болатын көшеттер отырғызылғаннан кейін бірінші жылдың өзінде-ақ жеміс беруі мүмкін, ал бойы 10–20 см болатын әлсіздеу көшеттерге толық жетілу үшін 2–3 жыл қажет болады. Гүлдеу процесі әдетте үш жылдан кейін, өсімдікте кемінде 16 жапырақ қалыптасқан кезде байқалады, бұл оның толық жетілуінің маңызды белгісі болып саналады. Жеміс бергеннен кейін бананның негізгі сабағы тіршілігін тоқтатады, бірақ өсімдік тамыр жүйесінен пайда болатын жаңа өркендер арқылы

өмір сүруін жалғастырады. Осы себепті бананға жеке дара емес, тұтас көпжылдық жүйе ретінде қарау қажет. Банан өсімдігін вегетациялық кезең бойында күтіп-баптаудың маңызды агротехникалық шараларының бірі - артық немесе қурап қалған жапырақтарды жүйелі түрде алып тастау болып табылады. Мұндай жапырақтардың ұзындығы кейде 3–4 метрге дейін жететіндіктен, оларды кесу немесе сыдырып тастау кезінде өсімдікке зақым келтірмеу ерекше маңызды. Кесілген жерлердің таза әрі тегіс болуы жарақаттың тез жазылуына және инфекцияның таралмауына ықпал етеді. Сонымен қатар, қолданылатын құралдардың міндетті түрде зарарсыздандырылуы қажет, өйткені ластанған немесе стерильденбеген құралдар арқылы аурулар сау өсімдік бөліктеріне оңай таралуы мүмкін. Бананды кесу жұмыстары жеміс берген негізгі сабақты, артық немесе әлсіз өркендерді және зақымданған бөліктерді жою арқылы жүргізіледі. Бұл процедура жаңа жас өркендердің өсуін ынталандырып, өсімдіктің жалпы физиологиялық жағдайын жақсартады. Жеміс бергеннен кейін негізгі сабақ өз қызметін аяқтайтындықтан, ол міндетті түрде кесіліп алынады, себебі банан сабағы бір рет қана өнім береді. Осы арқылы өсімдіктің энергиясы жаңа, өнімді жас өркендерге бағытталады. Кесу барысында жалған сабақ тамыр мойнына мүмкіндігінше жақын жерден қиылады. Кейбір жағдайларда, әсіресе тым биік немесе қолайсыз орналасқан өсімдіктерде, сабақтың орта тұсынан кесіп, оның биіктігін реттеу де қолданылады. Жеміс жинаудан кейін қалған кесілген орындар (4-суретте көрсетілгендей) әдетте қарайып көрінеді. Мұндай жерлер дереу ұнтақталған көмірмен өңделіп, залалсыздандырылады, бұл инфекцияның алдын алып, өсімдіктің жалпы саулығын сақтауға мүмкіндік береді.



Сур.3. Жылыжайда банан өсімдіктерін арнайы тормен көлеңкелеу

[Fig.3. Shading banana plants in a greenhouse with a special net]



Сур. 4. Бананның кепкен жапырақтарын кесу барысы және жеміс берген сабақтарының кесілген орындары

[Fig. 4. The process of cutting dry banana leaves and the cutting sites of fruiting stems]

Өсімдіктің өсу динамикасын тұрақты бақылау арқылы оның ауруларға шалдықпауын және зиянкестерден қорғалуын қамтамасыз ету үшін агротехникалық күтімді дұрыс ұйымдастыру қажет. Алайда жапырақтарды шамадан тыс мөлшерде кесіп тастау бананның фотосинтез процесін әлсіретіп, оның жалпы өнімділік әлеуетін төмендетуі мүмкін. Сол сияқты негізгі сабақты тым ерте немесе керісінше кеш кесу өсімдіктің табиғи жеміс беру цикліне кері әсер етіп, жаңа өркендердің қалыптасуын тежейді немесе оның тиімді ынталандырылуын кешіктіреді. Сонымен қатар, жапырақтар мен сабақтарды дұрыс әдіспен кесіп-сыдырудың орнына жұлу немесе дөрекі механикалық әсер қолдану өсімдік тіндерін зақымдап, оны әртүрлі аурулар мен зиянкестерге сезімтал етеді. Сондықтан барлық күтім жұмыстары дәл, ұқыпты және ғылыми негізделген тәсілмен орындалуы тиіс.

Банан өсімдігін жылыжай жағдайында, яғни жабық ортада өсіру кезінде кішкентай өскіндерді тікпе көшет ретінде пайдалану тиімді болып саналады, сондықтан оны екі жыл бойы толық өсіріп күту міндетті емес. Биіктігі 2 метрге дейін жеткен банан өсімдігін жапырақты және тамыр жүйесі сақталған күйінде толықтай отырғызуға болады. Тіпті 2–3 метр және одан да биік өсімдіктердің де жоғарғы

бөлігі жапырақтарымен бірге кесіліп, тек тамырлы діңгек күйінде ұяға отырғызу әдісі қолданылады. Отырғызылғаннан кейін мұндай тамырлы діңгектер тұрақты әрі мол суару нәтижесінде өте тез бейімделіп, қарқынды өсе бастайды. Бір тәуліктің ішінде жаңа ақ түсті өсу нүктелері байқалады, ал 7–10 күн аралығында алғашқы ірі жапырақтардың белгілері анық көріне бастайды. Бұл әдіс өсімдіктің тез жерсінугіне және вегетативті дамуының жеделдеуіне ықпал етеді.



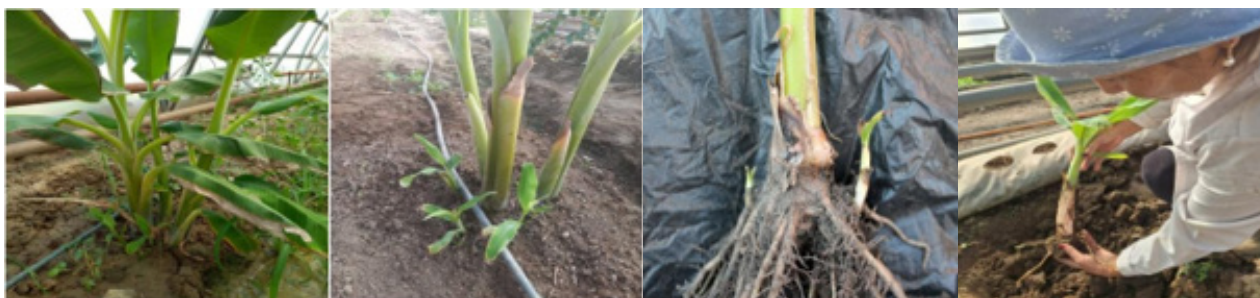
Сур. 5. Банан өсімдігінің сабағын ортан белінен кесуден кейінгі жапырақтана бастауы  
 [Fig. 5. The process of cutting dry banana leaves and the cutting sites of fruiting stems]

Банан өсімдігінің өте жылдам өсетін қасиеті оның кез келген даму кезеңінде жалған сабағына (жапырақ қынаптарының жиынтығынан түзілетін құрылым) жасалған кесу жұмыстары арқылы айқын байқалады. Мұндай өзгерістер әсіресе сурет 5-тегі мысалдардан көрінеді. Егер әлі жеміс бермеген банан сабағы кесілсе, келесі күннің өзінде-ақ кесілген жерден шамамен 5 см болатын түтікше тәрізді бұратылған жаңа құрылым пайда бола бастайды. Уақыт өте келе, шамамен екі апта ішінде кесілген сабақтың қайта қалпына келу немесе өзгеру динамикасын анық байқауға болады. Бұл банан өсімдігінің регенерациялық қабілетінің жоғары екенін көрсетеді. Жалпы алғанда, бананның тек жапырақтары ғана емес, сабағы да өсу мен даму кезеңдеріне байланысты әртүрлі мақсатта кесіліп, пішінделіп отырады. Мұндай агротехникалық шаралар өсімдіктің дұрыс қалыптасуына және өнімділігін реттеуге мүмкіндік береді.

Отырғызылған банан көшеті өсе бастаған кезде оның айналасындағы топырақтан жаңа өскіндер пайда болуы жиі кездеседі. Бұл өскіндерді тікпе көшет ретінде пайдалану үшін бірқатар мұқият агротехникалық жұмыстар атқару қажет болады. Ең алдымен аналық өсімдік маңында өсіп шыққан өскіндер айналдыра қазылып алынып, тығыз топырақ қабатынан абайлап ажыратылады. Олардың тамыр жүйесін зақымдамай бөліп шығару үшін тамырларын жуу арқылы өзара байланысқан тамырсабақтары анықталады. Содан кейін әр өскін ұқыппен кесіліп, жеке көшет ретінде бөлінеді. Бұл процесте аналық өсімдікті толық тамырсыз қалдырмау өте маңызды, өйткені оның әрі қарай өсу қабілеті сақталуы тиіс. Тамыр жүйесі әлсіз немесе жеткіліксіз дамыған өскіндерді аналықтан ажырату ұсынылмайды, себебі олардың өміршеңдігі төмен болады. Бөлінген жерлерге инфекция түспеуі үшін міндетті түрде ағаш күлі себіліп, дезинфекция жүргізіледі. Ал аналық өсімдікке тым жақын орналасқан кейбір өскіндерді орнында қалдырған дұрыс, себебі олар кейінгі өсімдіктің дамуына қажет болады. Сонымен қатар, банан өсімдігінің биологиялық ерекшелігіне сәйкес, ол жеміс бергеннен кейін негізгі сабағы тіршілігін тоқтатады, ал оның орнын жаңа өсіп шыққан жас өркендер басады. Осылайша, өсімдіктің айналасында үнемі алмастырушы жас өскіндер жүйесі сақталып отырады (сурет 6).

Банан гүлдеуге дайын болған шақта, қысқа сабақтың өсу нүктесінде жалған сабақ арқылы өтіп, жапырақтың артынша сыртқа ұзын гүлсидам жетіліп шығады. Гүлдеу өсімдіктің қарқынды өсуінен кейін, 8–10 ай өткенде басталады. Гүл шоғыры – ұзынша сәнді сиякөк, болмаса жасыл реңді шашақгүл. Оның тұғырында ірі аналық гүлдер, әрі қарай – розмірі бойынша кішкене қосжынысты гүлдер және соңында – ұсақ аталық гүлдер орналасқан. Барлық гүлдер түтікті, 3 желектен (күлтежапырақша),

3 тостаған жапырақшалардан тұрады, әдетте 6 аталық, оның біреуі жетілмеген және тозандығы да жоқ. Гинецейі 3-камералы түйін түзетін, 3 ұрық жапырақшасынан тұратын синкарпты.

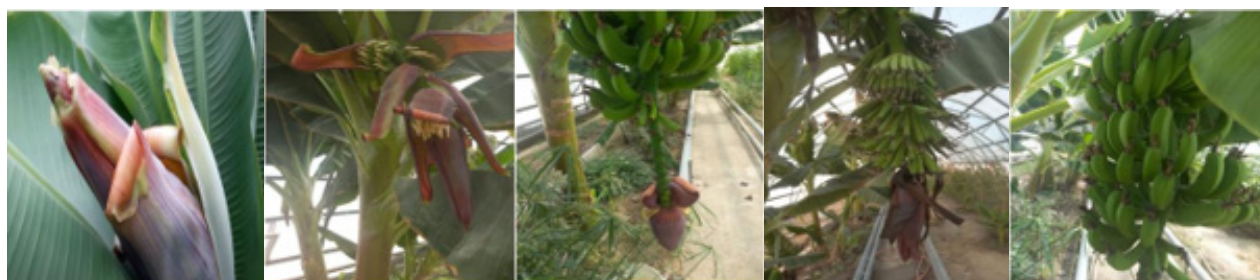


Сур. 6. Жылыжайдағы банан өсімдіктерінің жанынан шыққан өркендерді тікпе көшет ретінде пайдалану шаралары

[Fig. 6. Stages of using banana plant shoots in a greenhouse as rootstocks]

Гүлдер яруспен орналасқан және көп мөлшерде нектарлы (әр гүлде 0,5 г дейін). Әр қабат радиальды орналасқан және етті, талшықты сипағанда білінетін жабын жапырақтармен қалқаланған 12–20 гүлдерден тұратын шашақгүлге жиналған. Өсіп тұрған банандардың гүлдері ақ түсті, жабын жапырақтары сырт жағынан сиякөк, ал ішкіде – қою-қызыл. Ашылған аталық гүлдер өте тез түсуімен, гүлшоғырдың жоғарғы бөлігін жалаңаш қалдырады, төбелік ашылмаған бүршіктен басқа. Жабайы өсетін түрлердің гүлдеуі түнде, болмаса таңертең басталады – бірінші жағдайда тозандануға жарқанат ықпал етсе, екіншіде – құстар мен ұсақ сүтқоректілер. Банан өсімдігінің жемісі сорттарына, өскіндердің бастапқы шамасына және жарық мөлшеріне байланысты 1–3 жыл ішінде салынады. Тиісті күтіммен банандар жылдың кез келген уақытында гүлдей алады. Бойы 10–20 см болатын өскіндер 2–3-ші жылдары жемістер салса, ұяларға отырғызылған бойы 50–70 см болатын өркендер бірінші жылы-ақ жеміс бере бастайды. Олар жапырақ розеткасының ортасына таңқаларлық қызғылт бүршік салады. Бананның гүлдеуі әдетте он-он екі айға созылады. Шоқтықтың төменгі жағының жемістері пісіп жатса, жоғарыдағы гүлдер енді ғана ашылып жатады (сурет 7).

Бананның піскен өнімін жинап алғаннан кейін, жеміс берген негізгі сабағы әдетте толықтай кесіліп тасталады. Дегенмен өсімдіктің тіршілігі тоқтамайды, себебі топырақ астындағы тамыр жүйесі сақталып, оның өмір сүру ұзақтығы шамамен 15–20 жылға дейін жетеді. Сол тамырлардан уақыт өте келе жаңа жас өскіндер пайда болып, өсімдіктің үздіксіз жаңарып отыруын қамтамасыз етеді. Жеміс беріп болған ескі сабақтар агроөндірісте қалдық ретінде қарастырылмайды, керісінше оларды ұсақтап үгітіп, органикалық тыңайтқыш ретінде компост жасауға болады. Мұндай әдіс топырақ құнарлылығын арттырып, келесі отырғызуларға пайдалы әсер береді.



Сур. 7. Болашақ банандар гүлдерде осылай қалыптасады

[Fig. 7. This is how future bananas are formed from flowers]

Бананды вегетативті көбейтудің ең тиімді әрі қарапайым тәсілі – тамырсабақтан дамитын бүйірлік өскіндерді пайдалану. Бұл өскіндерді кез келген қолайлы уақытта аналық өсімдіктен тамыр жүйесінің бір бөлігімен бірге бөліп алып, жылыжайда алдын ала дайындалған ұяларға отырғызуға болады. Сонымен қатар оларды алдымен ыдыстардағы қоректік субстратта өсіріп, белгілі бір деңгейде жетілдіріп алғаннан кейін ғана тұрақты орынға көшіру де тиімді әдіс болып саналады (сурет 8). Бұл тәсіл өсімдіктің жақсы бейімделуіне мүмкіндік береді. Аталған вегетативті көбейту әдісі аналық өсімдікпен генетикалық бірдей жаңа өсімдік алуға жағдай жасайды, сондықтан тұқым түзбейтін мәдени сорттар үшін негізгі және ең кең таралған тәсіл болып есептеледі. Ал кейбір жабайы банан түрлері тұқым арқылы көбейе алады, бірақ мұндай процесс табиғи жағдайда сирек кездесіп, агротехникалық тұрғы-

дан әлдеқайда күрделі болып табылады.



Сур. 8. Бананның аналық өсімдігінен ажыратылған бүйірлік өскіндерінің тура ұяларға отырғызылуы және олардың ұяларға отырғызуға дейін жетілдірілуі

[Fig. 8. Planting the side shoots of a banana, separated from the mother plant, directly into the nests and improving them before planting in the nests]

Банан өсімдігін ыдыстарда өсіріп-жетілдіру кезінде ең алдымен оның биологиялық ерекшеліктері ескеріледі, себебі ол ылғалды жақсы сіңіретін, ауа өткізгіш және құрылымы жеңіл топырақты қажет етеді. Сонымен қатар бананның тамыр жүйесі терең дамиды, ыдыс ішінде міндетті түрде тиімді дренаж қабаты дайындалуы тиіс. Дренаж жасау үшін ыдыстың түбіне керамзит немесе ұсақ гравий төселеді. Оның үстіне өзен құмының жұқа қабаты салынып, ол қоректік топырақтың төменгі қабатқа өтіп кетуін және дренажды ластауын болдырмайды. Ал жоғарғы негізгі қабат ретінде агробалт пен агроперлит қоспасынан тұратын құнарлы субстрат пайдаланылады, бұл өсімдіктің жақсы дамуына қолайлы орта қалыптастырады.

Жылыжай жағдайында банан өсімдігі табиғи түрде жиі тамырлық өркендер түзеді, оларды жаңа көшеттер ретінде тиімді пайдалануға болады. Отырғызу үшін бірнеше жапырағы бар, жақсы қалыптасқан өскіндер таңдалып, аналық өсімдіктен оның ризомасымен бірге мұқият бөлініп алынады. Ризома – орталық сабағы жоқ тармақталған тамырсабақтың бөлігі болып табылады.

Аналық өсімдік пен айналасында өсіп тұрған өскіндердің ортақ тамырсабақтарын бөлу кезінде кесілген жерлер міндетті түрде ұнтақталған көмірмен өңделеді, бұл шіру процесінің алдын алады. Өте кішкентай өскіндер алдымен құнарлы субстрат салынған ыдыстарда өсіріліп жетілдіріледі, ал жақсы дамығандары бірден жылыжайдағы алдын ала дайындалған ұяларға отырғызылады. Банан өскіндері өміршең әрі бейімделгіш болғандықтан, кей жағдайларда оларды қосымша жетілдірусіз-ақ тікелей топыраққа отырғызу да тиімді әдіс болып саналады. Бұл тәсіл өсімдіктің тез жерсінуге және тұрақты өсуіне мүмкіндік береді.

Банан өсімдігінің тамырөскіндерін кем дегенде 5 л сыйымдылықты, төменгі жағы дренаждық тесікті, жұқа жұмсақ полиэтилен ыдысқа (шелектәрізді) отырғызу. Арнайы ыдыс болмаса, 5–10 литрлік тұрмыстық пластмасса ыдыстарды астыңғы жағынан артық сулар өтетіндей бірнеше тесіктер жасап пайдалана беруге болады. Төменгі жағына керамзит, немесе ұсақ тастар (щебень) төселген ыдыстардың түстіңгі жағынан шамамен 1 см бос орын қалдыра агробалт және аздап агроперлит араласқан құнарлы топырақпен (сутегілік көрсеткіші рН 6,5–7,5) толтырамыз.

Қоректік топырақты мол ылғалдап, ортасынан тереңдігі 5 см-дей ұя жасап, тамырлы өскінді отырғызып, бетін қоректік қоспалы топырақпен жауып, су құйғаннан кейін үстіңгі жағына 1 см вермикулит сеуіп тастаймыз да, 23–25°C-тық жылы орынға орналастырамыз.

Банандар үшін оңтайлы топырақ құрамы аздап қышқыл немесе бейтарап (рН 5,5–7,0), шымтезек, қарашірік және құм қоспасы (2:2:1) болып табылады. Топыраққа сүйек ұнын қосып, түбіне қалың дренажды қабат төсеу (ыдыстың тереңдігіне байланысты).

Тар ыдыс өсімдіктің өсуін тежейді. Егер өлі тамырлар болса, оларды сау ұлпасына дейін кесіп тастап, кесілген жерлерді ұсақталған ағаш көмірмен өңдеу. Қосымша тамырдың өсуін үдету үшін өсімдікті алдыңғы ыдыстағыдан да тереңге отырғызған жөн.

Аналық өсімдіктер мен оларды айнала жердің бетіне қылтиып өсіп шыққан өскіндердің ортақ тамырсабақтарын ажырату мақсатында кесілген орындарына шіріп кетпеуі үшін ұнтақталған көмір себілгеннен кейін, өскіндердің тым кішкентайлары әлі де жетілдіре түсу үшін құнарлы қоспалы топырақты жаңа ыдысқа, ал қалыпты жағдайлар жылыжайдағы алдын ала қазылған ұяларға отырғызылады. Әдетте бананның өскіндері өміршең келіп, аса бір ерекше күтіп-баптауды қажет етпейтіндіктен, жас

өскіндерді арнайы субстратта жетілдіріп алмай-ақ, тура топыраққа отырғыза беруге де болады.

Банан өсімдігінің тамырөскіндерін кем дегенде 5 л сыйымдылықты, төменгі жағы дренаждық тесікті, жұқа жұмсақ полиэтилен ыдысқа (шелектәрізді) отырғызу. Арнайы ыдыс болмаса, 5-10 литрлік тұрмыстық пластмасса ыдыстарды астыңғы жағынан артық сулар өтетіндей бірнеше тесіктер жасап пайдалана беруге болады. Төменгі жағына керамзит, немесе ұсақ тастар (щебень) төселген ыдыстардың түстіңгі жағынан шамамен 1 см бос орын қалдыра агробалт және аздап агроперлит араласқан құнарлы топырақпен (сутегілік көрсеткіші рН 6,5–7,5) толтырамыз.

Қоректік топырақты мол ылғалдап, ортасынан тереңдігі 5 см-дей ұя жасап, тамырлы өскінді отырғызып, бетін қоректік қоспалы топырақпен жауып, су құйғаннан кейін үстіңгі жағына 1 см вермикулит сеуіп тастаймыз да, 23–25<sup>o</sup>C-тық жылы орынға орналастырамыз.

Банандар үшін оңтайлы топырақ құрамы аздап қышқыл немесе бейтарап (рН 5,5–7,0), шымтезек, қарашірік және құм қоспасы (2:2:1) болып табылады. Топыраққа сүйек ұнын қосып, түбіне қалың дренажды қабат төсеу (ыдыстың тереңдігіне байланысты).

Тар ыдыс өсімдіктің өсуін тежейді. Егер өлі тамырлар болса, оларды сау ұлпасына дейін кесіп тастап, кесілген жерлерді ұсақталған ағаш көмірмен өңдеу. Қосымша тамырдың өсуін үдету үшін өсімдікті алдыңғы ыдыстағыдан да тереңге отырғызған жөн.

Қоректік топырақты мол ылғалдап, ортасынан тереңдігі 5 см-дей ұя жасап, тамырлы өскінді отырғызып, бетін қоректік қоспалы топырақпен жауып, су құйғаннан кейін үстіңгі жағына 1 см вермикулит сеуіп тастаймыз да, 23–25<sup>o</sup>C-тық жылы орынға орналастырамыз.

Банан өсімдігін наурыздан қазанға дейін 1-2 апта сайын, ал қазаннан наурызға дейін айына бір рет қоректендіріп тұрса жеткілікті. Қоректендіруге кешенді минералдық, немесе органикалық тыңайтқыштар пайдалану. Олар сұйық, түйіртпек немесе ұнтақ күйде болады. Жұмсалудың нормасы мен қолдану тәсілі типі мен өндірушіге байланысты түрліше болып келуі мүмкін, сондықтан инструкцияны міндетті түрде ұқыппен оқып шығу керек.

Жапырақ ұшының солуды – жапырақ ұштарының кебуімен және солып қалуымен сипатталатын банандарға әсер ететін ауру. Бұл, ең алдымен, дұрыс суармау, төмен ылғалдылық және қоректік заттардың дисбалансы сияқты факторларға байланысты. Егер жапырақтардың бірлі-жарымы сарғайса, онда суарудың жиілігін азайту жеткілікті. Өсімдік салқындау жерде (16<sup>o</sup>C) орналасса, оны біржарым-екі аптада бір рет суару. Судың температурасын бақылап тұру да маңызды: оны бөлме температурасында тұндыру.

Өсімдіктердің жапырақтары сарғайып кетсе, кешенді тыңайтқыштарды қолданып көру, себебі бұл көбінесе микроэлементтердің жетіспеушілігіне байланысты болады. Белгілі бір тапшылық байқалса, оған арнайы препаратты пайдалану, мысалы темір жетеспесе темір хелатын (мысалы, антихлорозин), магний үшін – магний сульфатын немесе магниймен байытылған тыңайтқыштарды пайдалану. Микроэлементтерге бай ағаш күлі де жақсы табиғи нұсқа болып табылады.

Банан зиянкестер мен түрлі ауруларға жеткілікті төзімді. Оған шабуыл жасайтын зиянкес насекомдар - өрмекші кене мен біте. Паразиттерді жоюға қолданылуы өндіруші инструкциясы бойынша қатаң сақталуы қажет түрлі заманауи инсекцидтер көмектеседі. Ауруларға келетін болсақ, барлық мәселенің түп тамыры өсімдіктердің саулығына қатысты – олардың дұрыс күтіп-бапталмауында.

Банан жапырақтарында қара-қоңыр дақтар пайда болуынан, жапырақ алақанының тургоры жоғалады. Себеп – топырақтың су басып тұруы мен тым ылғалдануы. Бұл тамыр шірігі пайда болуы мүмкіндігін көрсететін қауіпті белгі. Өсімдікті жерден алып мұқият қарап шығу, шіріген бөліктерді кесу, кесілген орындарға ағаш көмір ұнтағын себу және жаңа топыраққа отырғызу қажет. Әрі қарай суарудың жиілігі мен қарқынын азайту.

Банан жапырақтарының шегі солып құрғауы, ауа ылғалдығының тым төмендігінен. Егер солып құрғап, соның салдарынан негізгі өскін өліп қалса, бірақ жас өркен жақсы жетіліп жатса, уайымдаудың қажеті жоқ – ол ауру емес, толықтай қалыпты жағдай. Бананның өсуі, жетілуі мен көбеюі табиғи жағдайларда да тап осындай. Тәртіп бойынша, ең ірі өскін жеміс бергеннен кейін дереу өледі.

Жас көшеттерде жапырақтарындағы қою теңбілдер бананның бірқатар сорттарында кездеседі. Дақтар өзіне тән қызыл-қоңыр түсті жапырақ алақанының бүйір жүйкелерінде орналасады. Әдетте, өсімдіктің ересектену бойында дақтар жоғалады да жапырақ біртекті қаныққан жасыл түске енеді.

### **Қорытынды.**

Бұл экзотикалық жемісті жылыжайда өсіруге болады. Ол үшін белгілі тәртіпті сақтау және

нақты орындау керек.

Банандар жарқын, жанама жарықты қажет етеді. Жылыжайда оларды тікелей күн сәулесінен көлеңкелей оңтүстік, оңтүстік-шығыс немесе оңтүстік-батыс экспозицияда орналастыру керек. Сол-түстік жақта гүлдену мүмкін емес қосымша жарықтандыруларсыз; жарықтың жеткіліксіздігі өсуді тежейді. Жарықтандыру ұзақтығы күніне кемінде 12 сағат болуы керек. Жапырақтары ашық түсті болса, өсімдік тым көп жарық алғаны.

Бананды басқа жерге отырғызуды өсімдіктің қарқынды өсуінде, көктемнің аяғында немесе жазда жүргізген дұрыс. Осы кездері өсімдіктер тез тамырланады және өсуін жалғастырады. Тіпті банан қыстың күні ауырып шыққан болса да, оның қарқынды өсуін күтіп барып отырғызу керек. Күз мезгілінде және қыста бананды басқа жерге қайта отырғызуға болмайды – аналық өсімдік те, өскіндер де өліп қалуы мүмкін. Жалғыз ғана жағдай өсімдік ауырып, жедел қайта отырғызуды қажет етіп тұрса.

Банандар үшін онтайлы топырақ құрамы аздап қышқыл немесе бейтарап (рН 5,5–7,0), шымтезек, қарашірік және құм қоспасы (2:2:1) болып табылады. Топыраққа сүйек ұнын қосып, түбіне қалың дренажды қабат төсеу (ыдыстың тереңдігіне байланысты).

Банандар әр 10 күн сайын жаңа жапырақ шығара, жылы жағдайда тез өсіп-жетіледі. Өсімдік вегетациялық кезең бойына органикалық заттар әсерінен жақсы өседі, сондықтан минералды тыңайтқыштарды органикалықтармен (биогумус, лигногумат, калий гуматы) кезектестіре беріп тұрады, немесе органикалық-минералды тыңайтқыш қолданады. Үстеп қоректендіру жиілігі - айына 2 рет. Егер өсімдік өсіп кетсе және биіктіктің одан әрі өсуі қажет болмаса, үстеп қоректендіру тоқтатылады.

Бананды тамырсабағымен көбейтуде көбіне кесу, бөлу, зақымданған бөліктерді жою сияқты процедураларды атқаруда шіру процестері болмас үшін, кесінділерді дезинфекциялау маңызды. Егер қолда арнайы препараттар болмаса, белсендірілген көмірді (көмір – ылғалды жақсы сіңіреді, патогенді микрофлораның көбеюіне жол бермейді, сондай-ақ саңырауқұлақ аурулары дамуының тек бастапқы этаптарында немесе профилактикалық құрал ретінде ғана күресуге тиімді) кесілген жерге жақсылап сеуіп, өскіндерді әрі қарай өсіп-жетіле түсу үшін, сапасы ересек банандар өсіп тұрған жер топырағы салынған ыдыстарға, немесе, алдын ала дайындалып қойылған ұяларға отырғызады.

Бананды жылыжайда өсіруде кішкене өскіндерді пайдалану, сосын олардың екі жылдай үлкен ағаш болып өсуін күту міндет емес. Биіктігі 2 м-ден 4 м-ге дейінгі ересек өсімдіктерді де отырғызуға болады. Ол үшін 3-4 метрлік ағаштардың жоғарғы жағын жапырақтарымен қоса кесіп тастап, жердің бетінде биіктігі метрден аспайтындай діңін қалдыра көміп, олардың әрі қарайғы өсіп-жетілуіне жағдайлар жасау қажет (суреттерді қараңыз).

Жылыжайда банан өсіру – мұқият назар аударуды және айтарлықтай инвестицияны қажет ететін болашақты бағыт. Дегенмен, дұрыс ұйымдастыру арқылы банан өсімдігінің тұрақты экологиялық таза өнімін алуға және де кең масштабта банан өнімін өндірумен айналысатын жылыжайлық кәсіпорындарға тікпе көшеттерін дайындауға болады. Банан өсіру мен оның көшеттерін дайындау технологиялары үнемі жетілдірілуде, бұл процесті барған сайын қолжетімді етеді.

Банан өсінділері зерттеу үшін тамаша бастапқы материал болып табылады, өйткені оларды биотехнологияны (мысалы, жаңа сорттарды жасау үшін CRISPR/Cas9 көмегімен генді өңдеу), генетика және даму биологиясын қоса алғанда, әртүрлі салаларда зерттеуге болады. Олар сондай-ақ крахмалдың қантқа айналуы сияқты жемістердің пісетін процестерін зерттеу немесе калий, дәрумендер және талшық сияқты қоректік заттардың құрамын талдау үшін пайдаланылуы мүмкін.

## REFERENCES

- Ahmed S. et al. (2014). Studies on hardening and acclimatization of micro propagated plantlets of banana cv. Grand Naine // The Bioscan. 965–967 [in Eng.]
- Boronov F.Z. et al. (2025). Introduction of banana varieties into cultivation and the use of phytohormones in nutrient media for clonal micropropagation // Journal of Agriculture&Horticulture. 15–21. <https://internationalbulletins.com/intjour/index.php/jah/article/view/1904> [in Eng.]
- Cheng C. et al. (2024). Recent advances and future directions in banana molecular biology and breeding. // Molecular Horticulture. №4(42). 1–20. <https://doi.org/10.1186/s43897-024-00122-2> [in Eng.]
- Dewi R. et al. (2023). Micropropagation of Banana Plant Cavendish (Musa acuminata L) Using Shoot-tip Culture // Indonesia doi:10.56060/bdv.2023.2.2.2092 [in Eng.]
- Zhanzaqov M.M. және басқалары. (2025) Banan ósimdiginiń morfologiyasy men biologiyasy jáne ony jylyzhayda ósirý tehnologiyasy // Habarshy «Bolashaq» ýniversitetiniń ғылыми-билім берý zhurnaly. 1(129). 858–863. [https://bolashak-edu.kz/upload/files/%E2%84%961%20\(29\)%20%202025.pdf](https://bolashak-edu.kz/upload/files/%E2%84%961%20(29)%20%202025.pdf) [in Kaz.]
- Genet D. et al. (2026). Micropropagation of two banana (Musa spp.) varieties using shoot explant from Gurage Zone // Ethiopia. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e44499> [in Eng.]

- Hassan S.A. et al. (2022). Effect of vermicompost on vegetative growth and nutrient status of acclimatized Grand Naine banana plants // Heliyon. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10914> [in Eng.]
- Mansur H.E. et al. (2023). Modern approaches to in vitro clonal banana production: next-generation tissue culture systems // Horticulturae. 1–16. [in Eng.] doi:10.3390/horticulturae9101154 [in Eng.]
- Mansur H.E., Dicle D., Belgin B., Özhan S., Yıldız A.K. (2023). Modern approaches to in vitro clonal banana production: next-generation tissue culture systems. – Horticulturae. Pp. 1–16. [in Eng.] doi:10.3390/horticulturae9101154 [in Eng.]
- Md Abdus Salam et al. (2026). Development of an efficient micropropagation system for four commercially important banana genotypes // Journal of Bio-Science. 93–100. doi:10.3329/jbs.v33i1.87434 [in Eng.]
- Najarian A. et al. (2022). Influence of humic substance on vegetative growth, flowering and leaf mineral elements of Pelargonium x hortorum. J. Plant Nutr // Journal of Plant Nutrition. 107–112. doi: 10.1080/01904167.2021.1943432 [in Eng.]
- Pithiya M.B. et al. (2025). Effect of different media on secondary hardening of banana tissue culture plants in greenhouse conditions // Plant Archives. 200–204. <https://doi.org/10.51470/PLANTARCHIVES.2025.SP.ICTPAIRS-031> [in Eng.]
- Razani M. et al. (2020). RAPD Analysis of Musa acuminata cv. Berangan Plantlets in Nursery stage from long-term subculture // Pertanika J. Tropical Agricultural Science. 183–192. [in Eng.]
- Samuel C. et al. (2025). Recent progress in tissue culture techniques and biotechnological innovations for banana production (Musa spp.). doi.org/10.1007/s44372-025-00099-2 [in Eng.]
- Singh H.P. et al. (2011). Micropropagation for production of quality banana planting material in Asia-Pacific // Asia-Pacific Consortium on Agricultural Biotechnology (APCoAB). 94. [in Eng.]
- Uzaribara E. et al. (2015). Acclimatization of in vitro propagated red banana (Musa accuminata) plantlets // The Bioscan. 221–224. [in Eng.]

**М.М. Жанзаков** — разработка концепции исследования, определение целей и задач; участие в формировании методики полевых опытов; научное руководство выполнением работы; подготовка и редактирование текста статьи.

**К.А. Мырзабек** — проведение статистического анализа экспериментальных данных; систематизация и интерпретация результатов; подготовка таблиц, графиков и иллюстраций; координация подготовки рукописи и взаимодействие с редакцией.

**К.Б. Бегалиев** — участие в биометрических анализах; проверка достоверности данных и контроль качества первичной информации, в сборе и обработке экспериментальных данных; ведение полевого журнала наблюдений.

**Р.Д. Нурымова** — обеспечение экспериментальной базы и технических условий для проведения исследований; участие в анализе полученных результатов и редактировании итогового текста.



**G.N. Kairova<sup>1</sup>, G.A. Suleimanova<sup>1</sup>, A.N. Makhambetov<sup>2</sup>, Recep Ay<sup>3</sup>, G.Z. Zholdasbek<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>NJSC «Kazakh National Agrarian Research University», Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>«Kazakh National University» named after Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan;

<sup>3</sup>Isparta University of Applied Sciences, Isparta, Turkey.

E-mail: [gulnur.zholdasbek@kaznaru.edu.kz](mailto:gulnur.zholdasbek@kaznaru.edu.kz)

## PREVALENCE AND DEVELOPMENT CHARACTERISTICS OF THE ORIENTAL FRUIT MOTH (GRAPHOLITA MOLESTA (BUSCK)) IN THE SOUTH-EAST OF KAZAKHSTAN

**Kairova Gulshariya Nursapaevna**, Academician of the National Agrarian Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Candidate of Agricultural Sciences, NJSC «Kazakh National Agrarian Research University», Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty region, Almaty city, Abay Ave. 8

E-mail: [gulshariya.kairova@kaznaru.edu.kz](mailto:gulshariya.kairova@kaznaru.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0001-5445-7127>;

**Suleimanova Gulnur Almasovna**, PhD, Associate Professor of the Department of Fruit and Vegetable Production, Plant Protection and Quarantine, NJSC «Kazakh National Agrarian Research University», Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty region, Almaty city, Abay Ave. 8

E-mail: [gulnursuleimanova@kaznaru.edu.kz](mailto:gulnursuleimanova@kaznaru.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-2322-6155>;

**Makhambetov Alibek Nurlanovich**, Ph.D. doctoral student, «Kazakh National University» named after Al-Farabi, Republic of Kazakhstan, 050040, Almaty region, Almaty city, Al-Farabi street, 71

E-mail: [alibekmahambetov@gmail.com](mailto:alibekmahambetov@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0007-8076-8624>;

**Ay Recep**, professor of the Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Isparta University of Applied Sciences, 32260, Çünür-Isparta, Turkey

E-mail: [recepay@isparta.edu.tr](mailto:recepay@isparta.edu.tr), <https://orcid.org/0000-0001-9483-7255>;

**Zholdasbek Gulnur Zholdasbekkyzy**, Ph.D. student, NJSC «Kazakh National Agrarian Research University», Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty region, Almaty city, Abay Ave. 8

E-mail: [gulnur.zholdasbek@kaznaru.edu.kz](mailto:gulnur.zholdasbek@kaznaru.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0009-1242-2343>.

**Abstract.** This article examines the prevalence and biological development of the oriental codling moth (*Grapholita molesta* (Busck)), a quarantine pest that causes significant damage to plants in southeastern Kazakhstan. Field observations and analysis of the phytosanitary condition of plantings revealed that in southeastern Kazakhstan, the pest can develop up to five generations during the growing season, damaging the shoots and fruits of stone and pome fruits. The most vulnerable fruit crops are peach (*Prunus persica*), plum (*Prunus salicina*), apricot (*Armeniaca vulgaris*), and, to a lesser extent, apple (*Malus domestica*). The highest prevalence of the oriental codling moth was observed in peach and plum plantings, where an average of 25–35 males were caught per trap per week during their mass flight period. It was noted that shoot damage leads to drying out and reduced growth, while fruit damage causes a loss of marketability and premature fruit drop. Shoot damage by the pest reached 18.2 %, and fruit damage reached 22.8 %. It was established that increased air temperature leads to earlier phenology of *G. molesta*, which may contribute to the significant spread of the pest and lead to increased damage in the future. The obtained results allow for the adjustment of the timing of measures depending on objectively changing annual conditions and the development of an effective pest protection system for trees. Despite its focal distribution, the oriental codling moth requires systematic population monitoring, the use of integrated plant protection methods, and enhanced quarantine measures to prevent its further spread in Kazakhstan. The practical significance of these results lies in their potential use in developing regional fruit crop protection systems.

**Keywords:** Oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Busck), fruit crops, prevalence, harmfulness,

phytosanitary monitoring, pheromone traps

**For citation:** Kairova G.N., Suleimanova G.A., Makhambetov A.N., Recep Ay, Zholdasbek G.Z. (2026). Prevalence and development characteristics of the *Oriental fruit moth* (*Grapholita molesta* (Busck)) in the south-east of Kazakhstan // Research, results – Изденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 104–116. <https://doi.org/10.37884/4-2026/08> [In Russ.].

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

**Funding:** The research work was carried out within the framework of the program funded by the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan, BR22887230 “Development of an effective population management system for quarantine pests, with limited distribution in the Republic of Kazakhstan”, 2024–2026.

**Г.Н. Каирова<sup>1</sup>, Г.А. Сулейманова<sup>1</sup>, Ә.Н. Махамбетов<sup>2</sup>, Реджеп Ай<sup>3</sup>, Г.Ж. Жолдасбек<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>«Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КеАҚ, Алматы, Қазақстан;

<sup>2</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан;

<sup>3</sup>Испарта қолданбалы ғылымдар университеті, Испарта, Түркия.

E-mail: [gulnur.zholdasbek@kaznaru.edu.kz](mailto:gulnur.zholdasbek@kaznaru.edu.kz)

## ҚАЗАҚСТАННЫҢ ОҢТҮСТІК-ШЫҒЫСЫНДАҒЫ ШЫҒЫС ЖЕМІС ЖЕМІРІНІҢ (*GRAPHOLITA MOLESTA* (BUSCK)) ТАРАЛУЫ МЕН ДАМУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

**Каирова Гулшария Нурсапаевна**, ҚР ҰАҒА академигі, ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КеАҚ, 050010, Абай даңғылы, 8, Алматы, Қазақстан

E-mail: [gulshariya.kairova@kaznaru.edu.kz](mailto:gulshariya.kairova@kaznaru.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0001-5445-7127>;

**Сулейманова Гульнур Алмасовна**, PhD, қауымдастырылған профессор, «Жеміс-көкөніс шаруашылығы, өсімдік қорғау және карантин» кафедрасы, «Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КеАҚ, 050010, Абай даңғылы, 8, Алматы, Қазақстан

E-mail: [gulnursuleimanova@kaznaru.edu.kz](mailto:gulnursuleimanova@kaznaru.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-2322-6155>;

**Махамбетов Әлібек Нурланұлы**, Ph.D докторант, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, 050040, Алматы қаласы, әл-Фараби даңғылы, 71, Қазақстан

E-mail: [alibekmahambetov@gmail.com](mailto:alibekmahambetov@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0007-8076-8624>;

**Ай Реджеп**, профессор, Өсімдіктерді қорғау кафедрасы, Ауыл шаруашылығы факультеті, Испарта қолданбалы ғылымдар университеті, 32260, Чунур-Испарта, Түркия

E-mail: [reseray@isparta.edu.tr](mailto:reseray@isparta.edu.tr), <https://orcid.org/0000-0001-9483-7255>;

**Жолдасбек Гүлнұр Жолдасбекқызы**, Ph.D докторант, «Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КеАҚ, 050010, Абай даңғылы, 8, Алматы, Қазақстан

E-mail: [gulnur.zholdasbek@kaznaru.edu.kz](mailto:gulnur.zholdasbek@kaznaru.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0009-1242-2343>.

**Аннотация.** Мақалада оңтүстік-шығыс Қазақстан жағдайында өсімдіктерге елеулі зиян келтіретін карантиндік зиянкес – шығыс жеміс жемірінің (*Grapholita molesta* (Busck)) таралуы мен даму биологиялық ерекшеліктері қарастырылған. Далалық бақылаулар мен екпелердің фитосанитарлық жағдайын талдау нәтижесінде, өңір жағдайында бұл зиянкес вегетациялық кезеңінде 5 ұрпаққа дейін дамып, сүйекті және дәнекті жеміс дақылдарының өркендері мен жемістерін зақымдайтыны анықталды. Ең көп зақымданатын дақылдар қатарына шабдалы (*Prunus persica*), алхоры (*Prunus salicina*), өрік (*Armeniaca vulgaris*) және салыстырмалы түрде аз деңгейде алма (*Malus domestica*) жатады. Зиянкестің ең жоғары таралуы шабдалы мен алхоры бақтарында тіркеліп, жаппай ұшу кезеңінде бір тұзаққа апта-сына орта есеппен 25–35 аталық дарақ түскені байқалды. Зерттеу барысында өркендердің зақымдануы олардың қурауына және өсім қарқынының төмендеуіне әкелетіні, ал жемістердің зақымдануы олардың тауарлық сапасының нашарлауына және мерзімінен бұрын түсуіне себеп болатыны анықталды. Өркендердің зақымдану деңгейі 18,2 %-ға дейін, ал жемістердің зақымдануы 22,8 %-ға дейін жеткені тіркелді. Сонымен қатар, ауа температурасының жоғарылауы *G. molesta*-ның фенологиялық дамуын жеделдететіні байқалды, бұл өз кезегінде зиянкестің таралу ауқымының кеңеюіне және келешекте келтірілетін зиян көлемінің артуына ықпал етуі мүмкін. Алынған нәтижелер нақты жыл жағдайларына

байланысты агротехникалық және қорғау шараларын жүргізу мерзімдерін түзетуге, сондай-ақ зиянкеске қарсы тиімді қорғау жүйесін әзірлеуге мүмкіндік береді. Шығыс жеміс жемірі ошақтық түрде таралғанына қарамастан, оның популяциясын тұрақты бақылау, өсімдіктерді қорғаудың интеграцияланған әдістерін қолдану және Қазақстан аумағында одан әрі таралуын болдырмау мақсатында карантиндік шараларды күшейту қажет. Зерттеу нәтижелерінің практикалық маңызы – оларды аймақтық деңгейде жеміс дақылдарын қорғау жүйелерін әзірлеуде қолдануға болатындығында.

**Түйін сөздер:** шығыс жеміс жемірі, *Grapholita molesta* (Busck), жеміс дақылдары, таралуы, зияндылығы, фитосанитарлық мониторинг, феромонды тұзақтар

**Дәйексөз үшін:** Каирова Г.Н., Сулейманова Г.А., Махамбетов Ә.Н., Реджеп Ай, Жолдасбек Г.Ж. (2026). Қазақстанның оңтүстік-шығысындағы шығыс жеміс жемірінің (*Grapholita molesta* (Busck)) таралуы мен даму ерекшеліктері. // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 104–116. <https://doi.org/10.37884/4-2026/08> [In Russ.].

**Мүдделер қақтығысы:** авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

**Қаржыландыру:** зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасы Ауыл шаруашылығы министрлігі қаржыландыратын BR22887230 «ҚР аумағында таралуы шектеулі карантиндік зиянкестердің тиімді популяциясын басқару жүйесін әзірлеу» 2024–2026 жылдарға арналған бағдарламасы аясында жүргізілді.

**Г.Н. Каирова<sup>1</sup>, Г.А. Сулейманова<sup>1</sup>, А.Н. Махамбетов<sup>2</sup>, Реджеп Ай<sup>3</sup>, Г.Ж. Жолдасбек<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>Казахский Национальный Университет» имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

<sup>3</sup>Университет прикладных наук Испарты, Испарта, Турция.

E-mail: [gulnur.zholdasbek@kaznaru.edu.kz](mailto:gulnur.zholdasbek@kaznaru.edu.kz)

## РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ И ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ВОСТОЧНОЙ ПЛОДОЖОРКИ (*GRAPHOLITA MOLESTA* (BUSCK)) НА ЮГО-ВОСТОКЕ КАЗАХСТАНА

**Каирова Гулшария Нурсапаевна**, академик НАН РК, кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор, НАО Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Казахстан, 050010, Алматы, пр. Абая, 8

E-mail: [gulshariya.kairova@kaznaru.edu.kz](mailto:gulshariya.kairova@kaznaru.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0001-5445-7127>;

**Сулейманова Гульнур Алмасовна**, PhD, доцент кафедры плодовоовощеводства, защиты и карантин на растений, НАО Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Казахстан, 050010, Алматы, пр. Абая, 8

E-mail: [gulnursuleimanova@kaznaru.edu.kz](mailto:gulnursuleimanova@kaznaru.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-2322-6155>;

**Махамбетов Алибек Нурланович**, Ph.D. докторант, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, 050040, Алматы, пр. Аль-Фараби, 71

E-mail: [alibekmahambetov@gmail.com](mailto:alibekmahambetov@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0007-8076-8624>;

**Ай Реджеп**, профессор кафедры защиты растений, факультет сельского хозяйства, Университет прикладных наук Испарты, 32260, Чунур-Испарта, Турция

E-mail: [reseray@isparta.edu.tr](mailto:reseray@isparta.edu.tr), <https://orcid.org/0000-0001-9483-7255>;

**Жолдасбек Гүлнұр Жолдасбекқызы**, Ph.D. докторант, НАО Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Казахстан, 050010, Алматы, пр. Абая, 8

E-mail: [gulnur.zholdasbek@kaznaru.edu.kz](mailto:gulnur.zholdasbek@kaznaru.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0009-1242-2343>.

**Аннотация.** В статье рассмотрены распространённость и биологические особенности развития карантинного вредителя – восточной плодовой жорки (*Grapholita molesta* (Busck)), вызывающей существенные повреждения растений в условиях юго-востока Казахстана. На основе полевых наблюдений и анализа фитосанитарного состояния насаждений установлено, что в условиях юго-востока Казахстана вредитель способен развивать до 5 поколений за вегетационный период, повреждая побеги и плоды косточковых и семечковых культур. Наиболее уязвимыми плодовыми культурами являются персик (*Prunus persica*), слива (*Prunus salicina*), абрикос (*Armeniaca vulgaris*) и в меньшей степени яблоня (*Malus domestica*). Наибольшая степень распространённости восточной плодовой жорки отмечена

в насаждениях персика и сливы, где на одну ловушку в среднем за неделю попадались 25–35 самцов в период массового их лёта. Отмечено, что повреждение побегов приводит к их усыханию и снижению прироста, а повреждение плодов вызывает потерю товарных качеств и преждевременное опадение плодов. Поврежденность побегов вредителем доходила до 18,2 %, а поврежденность плодов – до 22,8 %. Установлено, что повышение температуры воздуха приводит к более ранней фенологии *G. molesta*, что может способствовать значительному распространению вредителя и привести к увеличению ущерба, наносимого им в будущем. Полученные результаты позволяют осуществить корректировку сроков проведения мероприятий в зависимости от объективно изменяющихся показателей условий года и разработать эффективную систему защиты деревьев от вредителя. Несмотря на очаговое распространение, восточная плодовая жорка требует систематического мониторинга популяции, применения интегрированных методов защиты растений и усиления карантинных мероприятий для предотвращения дальнейшего ее распространения в Казахстане. Практическая значимость результатов заключается в возможности их использования при разработке региональных систем защиты плодовых культур.

**Ключевые слова:** восточная плодовая жорка, *Grapholita molesta* (Busck), плодовые культуры, распространённость, вредоносность, фитосанитарный мониторинг, феромонные ловушки

**Для цитирования:** Каирова Г.Н., Сулейманова Г.А., Махамбетов А.Н., Реджеп Ай, Жолдасбек Г.Ж. (2026). Распространенность и особенности развития восточной плодовой жорки (*Grapholita molesta* (Busck)) на юго-востоке Казахстана // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 104–116. <https://doi.org/10.37884/4-2026/08> [In Russ.].

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** научно-исследовательская работа проводилась в рамках программы, финансируемой Министерством сельского хозяйства Республики Казахстан, BR22887230 «Создание эффективной системы управления численностью популяций карантинных организмов, ограничено распространённых на территории Республики Казахстан», 2024–2026 гг.

## Введение.

Восточная плодовая жорка *Grapholita molesta* (Busck) является опасным карантинным вредителем, представляющим серьёзную угрозу для плодовых культур. Этот вредитель предпочитает в качестве кормовых растений косточковые культуры, особенно персик и сливу. Восточная плодовая жорка также поражает семечковые плоды, главным образом после сбора урожая в близлежащих персиковых садах [Rothschild & Vickers, 1991]. Однако есть также сообщения об экономическом ущербе яблоневым садам в Чили, России, Бразилии, Китае, Италии, США и Канаде [Amat и др., 2021]. Вредитель повреждает не только мякоть плодов, но и молодые побеги плодовых деревьев, что приводит к снижению прироста зеленой массы и ведёт к значительным экономическим потерям в садоводстве.

Родиной восточной плодовой жорки является Юго-Восточная Азия (Китай, Корея, Япония), откуда распространилась по другим странам и континентам. Также плодовая жорка распространена в странах Европы, Азии, Америки и в Океании [Россельхознадзор, 2024]. На территории СССР был впервые найден в 1964 г. в Сочинском районе, в 1965 г. в Азербайджане, в 1967 г. на Украине под Одессой, в 1972 г. в Армении, а в дальнейшем обнаружен во многих южных районах европейской части СССР. На Кавказских Минеральных Водах бабочки восточной плодовой жорки впервые были обнаружены в 1977 г. [ATV Media, 2023]. В настоящее время восточная плодовая жорка имеет широкое распространение и регистрируется в 44 странах.

Результаты исследований, проведенных в Китае, показывают, что как среднемесячная температура, так и количество осадков имеют значительную положительную корреляцию в развитии *Grapholita molesta* (Busck). Следовательно, глобальное потепление с увеличением количества осадков может способствовать значительному распространению вредителя в персиковых садах [Li и др., 2022]. Китайскими учеными отмечено значительное смещение пиковой даты зимовки взрослых особей на северо-востоке, востоке и севере Китая. Популяции современных взрослых особей на северо-западе Китая и пиковая дата зимовки взрослых особей на севере Китая также сдвинулись [Bian и др., 2024]. Изменение климата может иметь существенное влияние на размножение и инвазию насекомых, что наносит прямой ущерб урожаю [Portner и др., 2022; Halsch и др., 2021; Cao et al., 2021]. Результаты исследования, проведенные в Испании, показали, что жизнеспособность *G. molesta* на яблоне зависит от колебаний температуры в полевых условиях, состояния плодов и сорта. В результате проведенных

ими исследовании обнаружена различная фенология популяции *G. molesta* в двух близко расположенных провинциях, занимающихся плодоводством и выращивающих разные культуры. Эти различия приводят к тому, что в провинции Жирона сменяется четыре поколения вредителя в год, а в провинции Лерида - пять [Amat и др., 2024].

На популяцию *G. molesta* также могут влиять различные сорта персиков посредством смешанного запаха с определенной изменчивостью [Kong et al., 2020]. Китайскими учеными установлено также влияние амигдалина на развитие *G. molesta*. Диета с 6 мг амигдалина на грамм корма может улучшить показатели и рост популяции восточной плодовой моли, но эффект амигдалина зависит от концентрации [Wang и др., 2022]. Установлено, что плодовитость *G. molesta* в разном возрасте тесно связана с развитием яичников. Самки *G. molesta* начинают откладывать яйца в больших количествах с третьего дня после вылупления [Su и др., 2022].

Для мониторинга динамики популяции *G. molesta* и корректировки обработок используются феромонные ловушки. В исследовании, проведенном испанскими учеными с помощью феромонных ловушек, изучалась фенология популяции взрослых особей. *G. molesta* в двух провинциях северо-восточной Испании, что показало значительные различия между провинциями во времени генерации [Amat и др., 2021]. Исследованием, проведенным в Италии оценена новая комбинированная приманка на основе феромона и кайромона для *G. molesta*, которая сочетает в себе половые феромоны со смесью уксусной кислоты и терпинилацетата. Количество пойманных самцов и общее количество бабочек в ловушках с комбинированной приманкой были значительно выше, чем в ловушках с феромоном [Preti и др., 2020]. В течение всего сезона восточной плодовой молью наиболее сильно повреждаются побеги косточковых культур. Яблоку, груше, айву восточная плодовая моль повреждает обычно наиболее сильно во второй половине лета и в сентябре [Аракелян и Никогосян, 1980; Кипиани, 1980].

В Казахстане восточная плодовая моль относится к карантинным ограниченно распространенным видам. Очаги вредителя зарегистрированы преимущественно в юго-восточных регионах страны. Исследованием, проведенным Бекназаровой З.Б. и Копжасарова Б.К. в 2016–2018 гг. установлены ориентировочные сроки появления отдельных фаз развития восточной плодовой моли в зависимости от суммы эффективных температур и теплосодержания, что позволяет своевременно подготовить комплекс мер для проведения защитных работ [Бекназарова и др., 2020].

Целью настоящего исследования являлось изучение распространенности и особенности развития восточной плодовой моли (*Grapholita molesta* (Busck)) в условиях юго-востока Казахстана для последующего подбора адаптивной оптимальной системы защиты многолетних культур. Научная новизна работы состоит в уточнении особенностей фенологии, вредоносности и распространения *Grapholita molesta* (Busck) в плодовых агроценозах юго-востока Казахстана. Определение календарных сроков развития поколений вредителя на основе феромонного мониторинга и суммы эффективных температур позволяет своевременно проводить защитные мероприятия в садах и минимизировать ущерб от восточной плодовой моли.

### Методы и материалы.

Объект исследования - восточная плодовая моль (*Grapholita molesta* (Busck)), являющийся карантинным вредителем плодовых культур семейства Rosaceae. Исследования проводились в насаждениях персика, сливы, абрикоса и яблони, расположенных в зонах промышленного садоводства юго-восточного Казахстана. Полевые исследования выполнялись в 2024–2025 гг. в хозяйствах Алматинской (село Чунджа Уйгурского района, село Байсеит Енбекшиказахского района) и Жетысуской (г. Жаркент Панфиловского района) областей. Климат региона характеризуется резко континентальными условиями с жарким летом и холодной зимой, что оказывает влияние на динамику численности вредителя и количество поколений за вегетационный период.

Для выявления распространенности вредителя проводились регулярные маршрутные обследования садов в весенне-летний и летне-осенний периоды с интервалом 10–14 дней. Осматривались деревья по диагональной схеме участка. На каждом участке анализировалось не менее 100 деревьев. Поврежденные побеги определяли по увядшим и поникшим верхушечным листьям плодовых культур. Обследования насаждений плодовых культур проводили совместно с специалистами районных филиалов Республиканского методического центра фитосанитарной диагностики и прогнозов.

Для определения сроков лёта имаго использовались феромонные ловушки с синтетическим половым феромоном самок восточной плодовой моли, которые размещались из расчета 1–2 на гектар на

высоте 1,5–2 м в кроне деревьев. Учёт численности бабочек проводился еженедельно [Макеев и Лысенко, 1991].

Для расчёта климатических и погодных данных использованы материалы из открытых источников (сайт <https://kazhydromet.kz/ru/>), полученных по ближайшей к месту исследования официальной метеостанции г. Чилик Енбекшиказахского района Алматинской области.

Сумму эффективных температур (СЭТ) рассчитывали по формуле:

$$\text{СЭТ} = T_{\text{ср}} - 10,$$

где  $T_{\text{ср}}$  - среднесуточная температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ). Все полученные значения СЭТ суммировались нарастающим итогом с начала весны (при установлении стабильное тепла).

Статистическую обработку результатов исследований проводили методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову. Для каждого варианта определяли средние значения изучаемых показателей. Достоверность различий между средними показателями оценивали по наименьшей существенной разности при 5 %-ном уровне значимости ( $\text{НСР}_{0,05}$ ).

### Результаты и обсуждение.

В ходе полевых обследований плодовых насаждений юго-востока Казахстана установлено, что карантинный вредитель - восточная плодожорка (*Grapholita molesta* (Busck)) распространена в зонах промышленного садоводства Алматинской и Жетысуской областей. Цикл развития вредителя по завершению генерации, при благоприятных температурных условиях, может начать очередную, новую генерацию. Это создаёт объективные затруднения в борьбе с ней.

Имаго восточной плодожорки серо-бурого цвета, небольших размеров, размах крыльев от 11 до 16 мм. Передние крылья буровато-серые, коричневатые, с едва заметным поперечным волнистым рисунком. Вершина крыла окаймлена тонкой чёрной бархатистой линией. Яйца сперва светлые, затем желтоватые с возрастом. Гусеницы имеют длину около 12 мм и могут быть от беловатых, кремовых до розоватых или оранжево-красных оттенков с коричневой головой. Из образцов, взятых в селе Чунджа Уйгурского района Алматинской области при микроскопировании гусениц восточной плодожорки удалось обнаружить анальный гребень на последнем сегменте брюшка, состоящего из ряда склеротизированных зубчиков (до 4 шт.), что является главным отличительным признаком в морфологии вредителя (рисунок 1).



Рис. 1. Имаго (а), гусеница (б) и анальный гребень на последнем сегменте брюшка гусеницы (отличительный признак) *Grapholita molesta* (Busck), Алматинская область Уйгурский район, с Чунджа, 2025г.

[Fig. 1. Adult (a), larva (b), and anal comb on the last abdominal segment of the larva (diagnostic feature) of *Grapholita molesta* (Busck), Uyghur District, Almaty Region, village of Chundzha, 2025].

Зимуют гусеницы в трещинах или под корой деревьев, в опавшей листве, в верхних слоях почвы. Гусеницы окукливаются в плотных шелковистых коконах на побегах, под корой, в опавших листьях или в почве. Эта стадия длится от нескольких дней до двух недель в зависимости от температуры. Самка восточной плодожорки через 3–5 суток после появления откладывает яйца в одиночку на нижнюю сторону листьев, молодые побеги и вблизи плодов. Через 4–8 дней отрождаются гусеницы весеннего поколения, которые проникают в молодые побеги или плоды и выгрызают ходы сверху вниз до 15 см внутри тканей. Вылетают взрослые бабочки, которые спариваются, а затем самки откладывают яйца. При благоприятных температурных условиях вредитель начинает развивать очередную, новую генерацию, что создаёт объективные затруднения в борьбе с ней. При появлении завязей гусеницы

начинают питаться плодами.

Для наиболее достоверного способа обнаружения вредителя в природе в саду применяли феромонные ловушки, которых вывешивали в кроне деревьев на высоте 1,5–2 метров от уровня почвы из расчета 1–2 ловушки на гектар насаждений (рисунок 2).



Рис. 2. Отловленные на феромонные ловушки бабочки восточной плодовой в саду персика села Байсеит Енбекшиказахского района Алматинской области

[Fig. 2. Adult moths of the oriental fruit moth captured in pheromone traps in a peach orchard in Baiseit village, Enbekshikazakh District, Almaty Region].

Феромонный мониторинг показал, что в условиях юго-востока Казахстана восточная плодовая формирует 4, а в некоторые благоприятные для развития вредителя годы и 5 поколений за вегетационный период. Первый лёт имаго *G. molesta* в исследуемые годы наблюдался во второй декаде апреля при сумме эффективных температур выше 10°C. Пик лёта бабочек перезимовавшего (первого) поколения приходился на вторую (в 2025 г.) - третью декаду апреля (в 2024 г.). Интенсивный лёт бабочек II поколения отмечали в третьей декаде мая – первой декаде июня. Пик лёта бабочек III поколения пришелся на вторую – третью декаду июня. Лёт бабочек IV поколения наблюдался в июле, при этом пик численности отмечался в конце месяца. Лет бабочек V поколения в благоприятном для развития вредителя 2025 году наблюдали с начала в августе, а в 2024 году - на 9 дней позже. В дальнейшем численность вредителя стала снижаться, и в начале сентября в ловушки попадались единичные особи.

В результате проведения обследований насаждений юго-востока республики выявлено, что восточная плодовая распространена в Алматинской и Жетысуской областях. Наибольшая численность бабочек *G. molesta* на одну ловушку за неделю наблюдалась в период массового лёта второго поколения (конец мая). В садах персика в селе Байсеит, Енбекшиказахского района Алматинской области среднее количество самцов, отловленных в феромонные ловушки составили 19–25 экземпляров. В сливовых садах села Чунджа Уйгурского района Алматинской области и в ГСУ Ескельдинского района Жетысуской области на одну ловушку в среднем попадались 28–35 самцов вредителя. В садах яблони города Жаркент Панфиловского района области Жетысу и Талгарского района Алматинской области количество самцов на одну ловушку было сравнительно небольшое и составило 7–11 особей, что соответствует примерно 10 % от максимальных значений. В абрикосовых насаждениях (Иссыкский государственный дендрологический парк) численность вредителя также оставалась не высокой и составила около 9 особей на ловушку (таблица 1).

Восточная плодовая, повреждая плоды и молодые побеги, нарушает их нормальное развитие и снижает количество урожая. По данным, приведенным Аракеяном А.О., Никогсяном Э.З. и Кипиани А.А. в течение всего сезона восточной плодовой наиболее сильно повреждаются побеги косточковых: персика- 50–70 %, черешни и вишни - 25–35 %, абрикоса и сливы- 20–25 %, айвы – до 20 %. Поврежденность плодов персиков, нектаринов, слив, груш, айвы иногда достигает 90 %–100 %, яблок – от 40 % до 45 %. Весной и в начале лета плоды семечковых повреждаются слабо, обычно яблоки,

грушу, айву восточная плодожорка повреждает наиболее сильно во второй половине лета и в сентябре [Аракелян и Никогосян, 1980; Кипиани, 1980]. Таблица 1. Распространенность восточной плодожорки на юго-востоке Казахстана, 2024–2025 гг.

| Хозяйство                                                                                                   | Координаты                                 | Культура | Количество отловленных бабочек на феромонные ловушки, шт |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------|
| Алматинская область, Уйгурский район, село Чунджа, ТОО «Alma Prodex»                                        | 43°36'19" N<br>79°24'51" E<br>681 м н.у.м. | Слива    | 28                                                       |
| Алматинская область, село Байсеит, КХ «Седа»                                                                | 43°34'57" N<br>78°21'14" E<br>677 м н.у.м. | Персик   | 25                                                       |
| Алматинская область, село Байсеит, КХ «Махмут»                                                              | 43°35'0" N<br>78°20'21" E<br>661 м н.у.м.  | Персик   | 19                                                       |
| Алматинская область, Талгарский р-н, с.Тонкерис, ТОО «Баймене»                                              | 42°26'6" N<br>77°8'19" E<br>612 м н.у.м.   | Яблоня   | 11                                                       |
| Жетысуская область, г. Талдыкорган ГСУ Ескельдинский р-н, Каратальский с/о                                  | 44°54'4" N<br>78°42'5" E<br>934 м н.у.м.   | Слива    | 35                                                       |
| Жетысуская область, Панфиловский р-н, Жаркент, КХ «Амролла»                                                 | 44°10'38" N<br>80°8'12" E<br>668 м н.у.м.  | Яблоня   | 7                                                        |
| Алматинская область, Енбекшиказахский район, пос. Актогай «Иссыкский государственный дендрологический парк» | 43°26'42" N<br>77°27'2" E<br>681 м н.у.м.  | Абрикос  | 9                                                        |

Восточная плодожорка в условиях юго-востока Казахстана чаще всего повреждал персик, сливу (рисунок 3). Первое поколение восточной плодожорки повреждает в основном молодые побеги, которые увядают и засыхают, что приводит к замедлению прироста, формированию бокового ветвления, и, как следствие, снижает урожай в следующем году. Последующие поколения вредителя переходят на плоды, что приводит к их гниению и осыпанию. На поврежденных восточной плодожоркой побегах и плодах косточковых пород выделяется капельки камеди.



Рис. 3. Поврежденные восточной плодожоркой побеги и плоды персика в с. Байсеит Енбекшиказахского района Алматинской области  
[Fig. 3. Peach shoots and fruits damaged by the oriental fruit moth in Baiseit village, Enbekshikazakh District, Almaty Region]

По результатам маршрутных обследований весной анализ поврежденности деревьев показал, что процент повреждённых побегов персика и сливы в период активного питания личинок первого поколения составлял 11,8–15,2 % и 9,0–18,2 %, соответственно. Также были отмечены повреждения молодых побегов абрикоса в среднем на 8,4 %. В садах косточковых культур значительные повреждения отмечены на плодах сливы, персика и абрикоса. Поврежденностью плодов к моменту уборки урожая очагами достигала: персика – 12,4–17,8 %; сливы – 11,6–22,8 %, абрикоса – 10,2 %. Максимальная по-

врежденность молодых побегов и плодов сливы отмечена в селе Чунджа Уйгурского района Алматинской области (22,8 %) (таблица 2).

Таблица 2. Поврежденность косточковых культур восточной плодояжкой на юго-востоке Казахстана, 2024–2025 гг

| Хозяйство                                                                                                   | Культура | Поврежденность побегов, % | Поврежденность плодов, % |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------|--------------------------|
| Алматинская область, Уйгурский район, село Чунджа, ТОО «Alma Prodex»                                        | Слива    | 18,2                      | 22,8                     |
| Алматинская область, село Байсеит, КХ «Седа»                                                                | Персик   | 15,2                      | 12,4                     |
| Алматинская область, село Байсеит, КХ «Махмут»                                                              | Персик   | 11,8                      | 17,8                     |
| Жетысуская область, г.Талдыкорган ГСУ Ескельдинский р-н, Каратальский с/о                                   | Слива    | 9,0                       | 11,6                     |
| Алматинская область, Енбекшиказахский район, пос. Актогай «Иссыкский государственный дендрологический парк» | Абрикос  | 8,4                       | 10,2                     |
| НСР0,05                                                                                                     |          | 0,95                      | 4,24                     |

На развитие восточной плодояжки значительное влияние оказывают климатические условия года. Как видно из данных таблицы 3 в исследуемые годы на стационарном участке села Байсеит Енбекшиказахского района Алматинской области (ближайшая метеостанция в с. Шелек) в вегетационный период 2024 года средняя температура воздуха была ниже, чем в 2025г., что повлияло на развитие восточной плодояжки.

Таблица 3. Агроклиматические показатели по данным метеостанции с. Шелек Енбекшиказахского района Алматинской области за март–октябрь 2024–2025 гг.

| Месяцы   | Ср. Т(0С) | Сумма осадков (мм) | Влажность, % | Ср. Т(0С) | Сумма осадков (мм) | Влажность, % |
|----------|-----------|--------------------|--------------|-----------|--------------------|--------------|
|          | 2024 год  | 2025 год           |              |           |                    |              |
| Март     | 6,3       | 34,5               | 63           | 6.7       | 37,4               | 60           |
| Апрель   | 14        | 31                 | 57           | 16.4      | 36,4               | 51           |
| Май      | 19,8      | 39,8               | 49           | 22.0      | 33,6               | 45           |
| Июнь     | 25,5      | 16,6               | 36           | 26.7      | 4,9                | 40           |
| Июль     | 26,4      | 40,9               | 40           | 28.1      | 0,7                | 36           |
| Август   | 26,3      | 9,2                | 38           | 25.5      | 11,7               | 40           |
| Сентябрь | 17,4      | 10,6               | 47           | 19.5      | 18,5               | 48           |
| Октябрь  | 12,6      | 24,4               | 58           | 11.7      | 9,7                | 56           |

В ходе проведения исследования были определены календарные сроки появления и развития восточной плодояжки на основе данных температуры воздуха, что позволит осуществить корректировку сроков проведения защитных мероприятий в зависимости от объективно изменяющихся показателей условий года. Изучению сроков прохождения фаз развития восточной плодояжки проводили на основе климатических условий года и показателя суммы эффективных температур (таблица 4).

Исследованиями, проведенными нами в 2024–2025 гг. отмечено, что дата лета бабочек первой генерации *G. molesta* сдвинулась вперед, как и дата отрождения гусениц I и II генераций. Лет бабочек I генерации в 2024 году наблюдался 22–27 апреля при сумме эффективных температур 82,7–111,3°C, тогда как прохождение этой фазы развития вредителя в 2025 отмечено 13–18 апреля при СЭТ 80,8–103,1°C, что на 9 дней раньше. В целом, начало лета бабочек первой генерации восточной плодояжки колебалась относительно СЭТ в пределах 80–83 °С. Кроме того установлено, что календарные сроки начала лета бабочек в разные годы колеблются: первый начинается 13–22 апреля, второй – в пределах 10–19 мая, третий – 4–13 июня и четвертый – 2–11 июля. Полученные данные позволяют ориентироваться в качестве элемента сигнализации развития вредителя для выбора оптимальных сроков борьбы

с восточной плодовой жоркой в насаждениях плодовых культур.

Таблица 4. Развитие восточной плодовой жорки на основе климатических условий и показателя суммы эффективных температур (Алматинская область, Енбекшиказахский район, с. Байсеит 2024–2025 гг.)

| Фаза развития вредителя          | 2024 г.            | 2025 г.                |                              |                    |                        |                              |
|----------------------------------|--------------------|------------------------|------------------------------|--------------------|------------------------|------------------------------|
|                                  | Дата начала стадии | Дата завершения стадии | Сумма эффективных температур | Дата начала стадии | Дата завершения стадии | Сумма эффективных температур |
| Лёт бабочек I генерации          | 22 апреля          | 27 апреля              | 82,7–111,3°C                 | 13 апреля          | 18 апреля              | 80,8–103,1°C                 |
| Откладка яиц I генерации         | 30 апрель          | 14 мая                 | 120,7–260,9°C                | 21 апреля          | 05 мая                 | 109,8–241,1°C                |
| Отрождение гусениц I генерации   | 04 мая             | 22 мая                 | 151–347,1°C                  | 25 апреля          | 13 мая                 | 131,4–341,3°C                |
| Окукливание I генерации          | 13 мая             | 02 июня                | 248,2–451,9°C                | 04 мая             | 24 мая                 | 228,2–490,5°C                |
| Лёт бабочки II генерации         | 19 мая             | 06 июня                | 326,9–501,8°C                | 10 мая             | 28 мая                 | 308,9–531,2°C                |
| Откладка яиц II генерации        | 24 мая             | 10 июня                | 367,2–566°C                  | 15 мая             | 01 июня                | 372,4– 575,7°C               |
| Отрождение гусениц II генерации  | 28 мая             | 17 июня                | 393,6–665,3°C                | 19 мая             | 08 июня                | 430,5– 683,7°C               |
| Окукливание II генерации         | 06 июня            | 28 июня                | 501,8–859,5°C                | 28 мая             | 19 июня                | 531,2–869,7°C                |
| Лёт бабочки III генерации        | 13 июня            | 05 июля                | 609,4–960,5°C                | 04 июня            | 26 июня                | 617,7–997,3°C                |
| Откладка яиц III генерации       | 19 июня            | 18 июля                | 697,2–1157°C                 | 10 июня            | 09 июля                | 715–1225,7°C                 |
| Отрождение гусениц III генерации | 24 июня            | 24 июля                | 782,9–1256°C                 | 15 июня            | 15 июля                | 794,2–1323,6°C               |
| Окукливание III генерации        | 04 июля            | 03 августа             | 947,5–1458,1°C               | 25 июня            | 25 июля                | 978,7–1520,4°C               |
| Лёт бабочки IV генерации         | 11 июля            | 08 августа             | 1046,7–1549,7°C              | 02 июля            | 30 июля                | 1101,4–1613,4°C              |
| Откладка яиц IV генерации        | 18 июля            | 21 августа             | 1157–1761,4°C                | 09 июля            | 12 августа             | 1225,7– 1824,7°C             |
| Отрождение гусениц IV генерации  | 22 июля            | 28 августа             | 1217,8–1866,2°C              | 13 июля            | 19 августа             | 1283,7–1931,1°C              |
| Окукливание IV генерации         | 30 июля            | 7 сентября             | 1379,3–1969,6°C              | 21 июля            | 29 августа             | 1445,9–2081,4°C              |
| Лёт бабочки V генерации          | 06 августа         | 12 сентября            | 1513–2003,8°C                | 28 июля            | 03 сентября            | 1580–2137,5°C                |
| Откладка яиц V генерации         | 14 августа         | 27 сентября            | 1659,7–2120°C                | 05 августа         | 18 сентября            | 1703,8–2302,4°C              |
| Отрождение гусениц V генерации   | 19 августа         | 12 октября             | 1731,3–2207,1°C              | 10 августа         | 01 октября             | 1786,2–2394,5°C              |
| Окукливание V генерации          | 28 августа         | 12 октября             | 1866,2–2207,1°C              | 19 августа         | 01 октября             | 1931,1–2394,5°C              |

Проводить обработки насаждений можно также учитывая не только сроки начала лёта бабочек, но также и другие стадии развития вредителя. Поэтому проводились наблюдения за появлением и развитием других фаз развития восточной плодовой жорки. Отрождение гусениц I генерации вредителя в 2024 году отмечено 4–22 мая, что на 9 дней позже, чем в 2025 г. Отрождение гусениц последующих поколений также сдвинулось на 9–10 дней. Соответственно сдвинулись и даты появления и развития

всех фаз вредителя. Каждая фаза развития вредителя начинается с учётом периода завершения окукливания предыдущего поколения.

В зависимости от климатических сроков развития восточной плодожорки отмечено устойчивое увеличение периода каждой последующей фазы вплоть до перехода среднесуточной температуры воздуха через +15 °С, который по климатическим данным села Шелек Енбекшиказахского района в 2024–2025 гг. наступал, соответственно 12–01 октября.

На основании данных феромонного мониторинга и суммы эффективных температур составлен фенологический календарь развития восточной плодожорки. Наиболее продолжительными фазами являются развитие гусениц и откладка яиц в III-V поколениях. Перекрывание поколений наблюдается начиная со второй половины июня, что существенно осложняет проведение защитных мероприятий и требует постоянного мониторинга популяции вредителя (таблица 5).

Таблица 5. Фенологический календарь развития *Grapholita molesta* (Busck) в условиях Алматинской области, 2024–2025 гг.

| Стадия                           | IV |    |     | V |    |     | VI |    |     | VII |    |     | VIII |    |     | IX |    |     | X |    |     |
|----------------------------------|----|----|-----|---|----|-----|----|----|-----|-----|----|-----|------|----|-----|----|----|-----|---|----|-----|
|                                  | I  | II | III | I | II | III | I  | II | III | I   | II | III | I    | II | III | I  | II | III | I | II | III |
| Лёт бабочек I генерации          |    | +  | +   |   |    |     |    |    |     |     |    |     |      |    |     |    |    |     |   |    |     |
| Откладка яиц I генерации         |    |    | *   | * | *  |     |    |    |     |     |    |     |      |    |     |    |    |     |   |    |     |
| Отрождение гусениц I генерации   |    |    | -   | - | -  | -   |    |    |     |     |    |     |      |    |     |    |    |     |   |    |     |
| Окукливание I генерации          |    |    |     | 0 | 0  | 0   | 0  |    |     |     |    |     |      |    |     |    |    |     |   |    |     |
| Лёт бабочки II генерации         |    |    |     | + | +  | +   | +  |    |     |     |    |     |      |    |     |    |    |     |   |    |     |
| Откладка яиц II генерации        |    |    |     |   | *  | *   | *  |    |     |     |    |     |      |    |     |    |    |     |   |    |     |
| Отрождение гусениц II генерации  |    |    |     |   | -  | -   | -  | -  |     |     |    |     |      |    |     |    |    |     |   |    |     |
| Окукливание II генерации         |    |    |     |   |    | 0   | 0  | 0  | 0   |     |    |     |      |    |     |    |    |     |   |    |     |
| Лёт бабочки III генерации        |    |    |     |   |    |     | +  | +  | +   | +   |    |     |      |    |     |    |    |     |   |    |     |
| Откладка яиц III генерации       |    |    |     |   |    |     | *  | *  | *   | *   | *  |     |      |    |     |    |    |     |   |    |     |
| Отрождение гусениц III генерации |    |    |     |   |    |     |    | -  | -   | -   | -  | -   |      |    |     |    |    |     |   |    |     |
| Окукливание III генерации        |    |    |     |   |    |     |    |    | 0   | 0   | 0  | 0   | 0    |    |     |    |    |     |   |    |     |
| Лёт бабочки IV генерации         |    |    |     |   |    |     |    |    |     | +   | +  | +   | +    |    |     |    |    |     |   |    |     |
| Откладка яиц IV генерации        |    |    |     |   |    |     |    |    |     | *   | *  | *   | *    | *  |     |    |    |     |   |    |     |
| Отрождение гусениц IV генерации  |    |    |     |   |    |     |    |    |     |     | -  | -   | -    | -  |     |    |    |     |   |    |     |
| Окукливание IV генерации         |    |    |     |   |    |     |    |    |     |     |    | 0   | 0    | 0  | 0   | 0  |    |     |   |    |     |
| Лёт бабочки V генерации          |    |    |     |   |    |     |    |    |     |     |    | +   | +    | +  | +   | +  | +  |     |   |    |     |
| Откладка яиц V генерации         |    |    |     |   |    |     |    |    |     |     |    |     | *    | *  | *   | *  | *  | *   |   |    |     |
| Отрождение гусениц V генерации   |    |    |     |   |    |     |    |    |     |     |    |     | -    | -  | -   | -  | -  | -   | - | -  |     |
| Окукливание V генерации          |    |    |     |   |    |     |    |    |     |     |    |     |      | 0  | 0   | 0  | 0  | 0   | 0 | 0  |     |

Примечание: IV–X - месяцы вегетационного периода; I, II, III – декады месяца. Обозначения: + бабочка; – гусеница; 0 куколка; \* яйца.

Таким образом, результаты исследования показали, что повышение температуры воздуха приводит к более ранней фенологии насекомых. Осадки и влажность воздуха также играют роль в развитии *G. molesta*, регулируя летнюю температуру. Следовательно, большее количество осадков приводит к снижению температуры, что, соответственно, замедляет развитие *G. molesta*. Эта взаимосвязь может быть обусловлена тем, что более высокие летние температуры ускоряют рост и развитие *G. molesta*, сокращают цикл его развития, позволяют появиться большему количеству поколений вредителя в год. Это исследование проясняет фенологическую реакцию *G. molesta* на потепление климата, предоставляя ценные сведения для прогнозирования дальнейшего распространения вредителя и разработки адаптивных стратегий борьбы с ним.

Полученные данные свидетельствуют о том, что климатические условия юго-восточного Казахстана благоприятны для развития нескольких поколений восточной плодовой моли в течение сезона. Увеличение среднесуточных температур в летний период способствует сокращению продолжительности развития генераций и повышению вредоносности.

Сравнение с литературными данными показывает, что развитие и уровень поврежденности *G. molesta* в исследуемом регионе соответствует показателям стран с аналогичными климатическими условиями и частично согласуются с нашими результатами. Глобальное потепление с увеличением количества осадков может способствовать распространению *G. molesta*, позволяя ей превзойти других потенциальных вредителей на уровне популяции в персиковых садах [Li et al., 2022; Bian et al., 2024]. Учеными России разработана полезная компьютерная программа определения календарных сроков развития восточной плодовой моли на основе данных температуры воздуха и установлено, что вариabельность сроков индивидуального развития вредителя обеспечивает увеличение периодов фазы с каждой очередной генерацией [Потанин и др., 2023]. Наши результаты показали, что как среднемесячная температура, так и количество осадков оказывает положительное влияние на развитие *G. molesta*. При этом отсутствие систематического мониторинга и несвоевременное проведение защитных мероприятий может привести к резкому увеличению численности вредителя.

### Заклучение.

Восточная плодовая моль, повреждая плоды и молодые побеги, остаётся серьёзным вредителем плодовых культур, представляющим опасность для садоводства Казахстана. Несмотря на очаговое распространение этот карантинный вредитель требует постоянного мониторинга и строгого фитосанитарного контроля, чтобы предотвратить массовые вспышки и экономические потери в плодовых садах. Наибольшая степень распространённости восточной плодовой моли отмечена в насаждениях персика и сливы, где поврежденность побегов вредителем доходила до 18,2 %, а поврежденность плодов – до 22,8 %.

*G. molesta* в условиях юго-востока Казахстана за сезон может формировать до 5 поколений. Полный цикл развития от яйца до взрослой особи при благоприятных условиях в зависимости от климатических условий занимает до 30 дней. Повышение летней температуры воздуха способствует к более ранней фенологии *G. molesta*, что потенциально может привести к увеличению ущерба, наносимого этим вредителем в будущем. Полученные результаты позволяют осуществить корректировку сроков проведения мероприятий в зависимости от изменяющихся показателей климатических условий года и разработать систему защиты плодовых деревьев от вредителя.

### REFERENCES

- Amat, C., Bosch-Serra, D., Avilla, J. & Escudero-Colomar, L.A. (2021). Different population phenologies of *Grapholita molesta* (Busck) in two hosts and two nearby regions in the NE of Spain. *Insects*. 12(612). <https://doi.org/10.3390/insects12120612>
- Amat, C., Bosch-Serra, D., Avilla, J. & Escudero-Colomar, L.A. (2024). Host–pest interactions: Investigating *Grapholita molesta* (Busck) larval development and survival in apple cultivars under laboratory and field conditions. *Horticulturae* 2024, 10(1016). <https://doi.org/10.3390/horticulturae10101016>
- Arakelyan A.O., Nikogosyan E.H.Z. (1980). *Vostochnaya plodozhorka i mery bor'by s nej v Armyanskoj SSR*. Sbornik nauchnykh trudov. *Vostochnaya plodozhorka*. 12–40. — M.: Nauka. [in Russ.]
- ATV Media. (2023). *Vostochnaya plodozhorka: gde obitayet vreditel, i chem on opasen dlya stavropolskogo urozhaya* [in Russ.]
- Beknazarova, Z.B., Kopzhasarov, B.K., Zhunusova, A.S. & Alimkulova, M.K. (2020). SHyrys zhemis zhemiriniń damu kezenderinde qazhetti tiimdi temperaturalar zhiyntyry men zhyly mөлsheri kөrsetkishti // *Izdenister, nәtizheler – Issledovaniya, rezul'taty*. № 1(85). ISSN 2304-3334. [in Kaz.]
- Bian H., Li W., Yu S., Mao J., Hong Y., Song Y. & Cai P. (2024). How climate warming influences the phenology of *Grapholita molesta* (Busck, 1916) (Lepidoptera: Tortricidae) in China: Insight from long-term historical data. *Insects*, 15(474). <https://doi.org/10.3390/>

insects15070474

- Cao, L.J., Li, B.Y., Chen, J.C., Zhu, J.Y., Hoffmann, A.A. & Wei, S.J. (2021). Local climate adaptation and gene flow in the native range of two co-occurring fruit moths with contrasting invasiveness. *Molecular Ecology*. 30. 4204–4219. <https://doi.org/10.1111/mec.15942>
- Halsch C.A., Shapiro A.M., Fordyce J.A., Nice C.C., Thorne J.H., Waetjen D.P. & Forister M.L. (2021). Insects and recent climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 118. e2002543117. <https://doi.org/10.1073/pnas.2002543117>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Kipiani A.A. (1980). Vostochnaya plodozhorka i mery bor'by s nej v Gruzinskoj SSR. *Sbornik nauchnykh trudov. Vostochnaya plodozhorka*. Pp.45–67. — M.: Nauka. [in Russ.]
- Kong W., Wang Y., Guo Y., Chai X., Li J. & Ma R. (2020). Importance of preovipositional period of an oligophagous moth in predicting host suitability. *Journal of Economic Entomology*. 113. 222–229. <https://doi.org/10.1093/jee/toz293>
- Li H., Peng Q., Wang S., Zhang F., Guo X., Jiang Q., Huang N. & Li H. (2022). Climate change promotes the large-scale population growth of *Grapholita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae) within peach orchards in China. *Agronomy*. 12(2954). <https://doi.org/10.3390/agronomy12122954>
- Makeev G.I. & Lysenko N.A. (1991). Nekotorye aspekty primeneniya feromonnykh lovushek vostochnoj plodozhorki. *Sbornik nauchnykh trudov. Karantinnyye vrediteli, bolezni i sornye rasteniya*. Ch. 1. Pp. 58–63. — Bykovo: [in Russ.]
- Potanin D.V., Ivanova, M.I. & Ivanchenko V.I. (2023). Pprgnozirovanie razvitiya vostochnoj plodozhorki (*Grapholita molesta*) s uchetom pogodnykh faktorov dlya razrabotki sistemy zashhity rastenij mnogole'nikh nasazhdenij. *Plodovodstvo i vinogradarstvo YUga Rossii*. № 84(6). Pp. 136–150. <http://journalkubansad.ru/pdf/23/06/10.pdf> [in Russ.]
- Preti, M., Knight, A.L. & Angeli, S. (2020). Improved monitoring of *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) in stone fruit orchards with a pheromone–kairomone combination lure. *Insects*. 11(412). <https://doi.org/10.3390/insects11070412>
- Rossel'khoz nadzor (2024). Opasnyj karantinnyj vreditel' plodovykh kul'tur – vostochnaya plodozhorka. <https://57.fsvps.gov.ru/news/opasnyj-karantinnyj-vreditel-plodovykh-kultur-vostochnaja-plodozhorka/> [in Russ.]
- Rothschild, G.H.L. & Vickers R.A. (1991). Biology, ecology and control of the oriental fruit moth. In L.P.S. Van der Geest & H. H. Evenhuis (Eds.), *Tortricid pests: Their biology, natural enemies and control*. Vol. 5. Pp. 389–412. Elsevier: — Amsterdam, The Netherlands.
- Su S., Zhang X., Zhang J., Huang B., Jian C., Peng X., Vreysen M.J.B. & Chen M. (2022). Flight performance, fecundity, and ovary development of *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) at different ages. *Insects*. 13(837). <https://doi.org/10.3390/insects13110837>
- Wang Y., Li J., Chai X., Hu X., Li X., Kong W. & Ma R. (2022). Development and fecundity of oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae) reared on various concentrations of amygdalin. *Insects*. 13(974). <https://doi.org/10.3390/insects13110974>

**Каирова Гулшария Нурсапаевна** — написание оригинального текста; редактирование и рецензирование; координация научной работы; общее руководство проектом.

**Сулейманова Гульнур Алмасовна** — сбор и обработка экспериментальных данных; участие в полевых исследованиях; анализ результатов.

**Махамбетов Алибек Нурланович** — проведение полевых наблюдений; сбор первичных данных; участие в интерпретации результатов.

**Ай Реджеп** — концептуализация исследования; разработка методологии; написание оригинального текста; редактирование и рецензирование.

**Жолдасбек Гүлнұр Жолдасбекқызы** — разработка методологии исследования; участие в полевых исследованиях; анализ результатов; подготовка данных; написание оригинального текста.



**M.T. Kumarbayeva<sup>1\*</sup>, A.M. Kokhmetova<sup>1</sup>, Zh.S. Keishilov<sup>1,2</sup>, A.I. Kharipzhanova<sup>1</sup>,  
N.M. Kovalenko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>NJSC «Kazakh National Agrarian Research University», Almaty, Kazakhstan;

<sup>3</sup>All-Russian Research Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia.

E-mail: [madina\\_kumar90@mail.ru](mailto:madina_kumar90@mail.ru)

## FIELD EVALUATION OF KASIB WHEAT GERMPLASM FOR DROUGHT TOLERANCE IN KAZAKHSTAN

**Kumarbayeva Madina Talgarovna**, PhD, Leading Researcher, Laboratory of Genetics and Selection, Institute of Plant Biology and Biotechnology, Republic of Kazakhstan, 050040, Almaty, st. Timiryazev 45

E-mail: [madina\\_kumar90@mail.ru](mailto:madina_kumar90@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5588-6772>;

**Kokhmetova Alma Myrzabekovna**, Doctor of Biological Sciences, Professor. Head of the Laboratory of Genetics and Selection of the Institute of Plant Biology and Biotechnology; Republic of Kazakhstan, 050040, Almaty, st. Timiryazev 45

E-mail: [gen\\_kalma@mail.ru](mailto:gen_kalma@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0186-7832>;

**Keishilov Zhenis Sovetkanovich**, Master of Agricultural Sciences, Researcher, Laboratory of Genetics and Selection, Institute of Plant Biology and Biotechnology, Republic of Kazakhstan, 050040, Almaty, st. Timiryazev 45

E-mail: [Jeka-Sayko@mail.ru](mailto:Jeka-Sayko@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2126-6951>;

**Kharipzhanova Aidana Isenbaikyzy**, PhD in Agricultural Sciences, Researcher, Laboratory of Genetics and Selection, Institute of Plant Biology and Biotechnology, Kazakhstan, 050040, Almaty, Timiryazev St., 45

E-mail: [aidankastar@gmail.com](mailto:aidankastar@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7329-1449>;

**Kovalenko Nadezhda Mikhailovna**, candidate of biological sciences, All-Russian Research Institute of Plant Protection, Saint Petersburg 196608, Russia

E-mail: [nadyakov@mail.ru](mailto:nadyakov@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9577-8816>.

**Abstract.** Wheat (*Triticum aestivum* L.) is a strategically important crop for global food security, particularly under increasing climate variability and drought frequency. Identifying genotypes that combine high productivity, disease resistance, and environmental adaptability remains a key objective of modern breeding. The aim of this study was to comprehensively evaluate spring wheat varieties and lines from the international KASIB nursery to identify promising genotypes with high yield potential and drought tolerance. The research was conducted in the Kostanay region at the Karabalyk Agricultural Experiment Station. Phenological observations, morphometric analysis, NDVI assessment, phytopathological screening for leaf rust resistance, and determination of the drought tolerance index (DSI) were applied. Statistical methods were used to assess trait variability and identify adaptation patterns. The results revealed significant phenotypic variability among the studied accessions. Thirty-six genotypes exhibited high NDVI values (0.55–0.67), indicating intensive biomass accumulation. The 1,000-kernel weight ranged from 24 to 57 g, with 27 accessions exceeding 40 g, reflecting high productivity potential. Phytopathological screening identified 59 genotypes with an immune response to leaf rust. Morphometric analysis showed that the length of the last internode (15–47 cm) is a key adaptive trait associated with both productivity and drought tolerance. Grain yield varied from 17.7 to 53.9 c/ha. The drought tolerance index (DSI) ranged from 0.26 to 1.17, with 23 genotypes classified as drought-tolerant (DSI ≤ 0.50). These findings confirm the high genetic and phenotypic diversity of the KASIB collection and demonstrate the effectiveness of integrating morphological, physiological, and phytopathological traits for

identifying adaptive and high-yielding genotypes for breeding programs.

**Keywords:** drought tolerance, field evaluation, wheat, KASIB, abiotic stress, drought phenotyping, yield stability

**For citation:** Kumarbayeva M.T., Kokhmetova A.M., Keishilov Zh.S., Kharipzhanova A.I., Kovalenko N.M. (2026). Evaluation of field drought tolerance in kasib wheat germplasm in northern Kazakhstan // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 117–128. <https://doi.org/10.37884/4-2026/09> [In Eng.].

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

**Acknowledgements:** This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (BR28712539).

**М.Т. Кумарбаева<sup>1\*</sup>, А.М. Кохметова<sup>1</sup>, Ж.С. Кеишилов<sup>1,2</sup>, А.І. Харіпжанова<sup>1</sup>,  
Н.М. Коваленко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты, Алматы, Қазақстан;

<sup>2</sup>Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, КЕАҚ, Алматы, Қазақстан;

<sup>3</sup>Бүкілресейлік өсімдіктерді қорғау ғылыми-зерттеу институты, г. Санкт-Петербург, Ресей.

E-mail: madina\_kumar90@mail.ru

## ҚАЗАҚСТАНДА КАСИБ БИДАЙ КОЛЛЕКЦИЯСЫНЫҢ ҚҰРҒАҚШЫЛЫҚҚА ТӨЗІМДІЛІГІН ДАЛАЛЫҚ БАҒАЛАУ

**Кумарбаева Мадина Талгаровна**, PhD, Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институтының генетика және селекция лабораториясының жетекші ғылыми қызметкері. 050040, Тимирязев көшесі, 45, Алматы, Қазақстан

E-mail: madina\_kumar90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5588-6772>;

**Кохметова Алма Мырзабековна**, б.ғ.д., профессор, Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институтының генетика және селекция лабораториясының меңгерушісі; 050040, Тимирязев көшесі, 45, Алматы, Қазақстан

E-mail: gen\_kalma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0186-7832>;

**Кеишилов Женис Советканович**, ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институтының генетика және селекция лабораториясының ғылыми қызметкері. 050040, Тимирязев көшесі, 45, Алматы, Қазақстан

E-mail: Jeka-Sayko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2126-6951>;

**Харіпжанова Айдана Ісенбайқызы**, ауыл шаруашылығы ғылымдарының PhD докторы, ғылыми қызметкер, Генетика және селекция зертханасы, Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты. 050040, Тимирязев көшесі, 45, Алматы, Қазақстан

E-mail: aidankastar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7329-1449>;

**Коваленко Надежда Михайловна**, биология ғылымдарының кандидаты, Бүкілресейлік өсімдіктерді қорғау ғылыми-зерттеу институты, 196608, Санкт-Петербург, Ресей

E-mail: nadyakov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9577-8816>.

**Аннотация.** Бидай (*Triticum aestivum* L.) – жаһандық азық-түлік қауіпсіздігі үшін стратегиялық маңызды дақыл болып табылады, әсіресе климаттың өзгергіштігі мен құрғақшылық жиілігінің артуы-на байланысты. Жоғары өнімділікті, ауруға төзімділікті және қоршаған ортаға бейімделуді біріктіретін генотиптерді анықтау қазіргі заманғы селекциядағы негізгі мәселе болып қала береді. Бұл зерттеудің мақсаты жоғары өнімділік әлеуеті мен құрғақшылыққа төзімділігі бар перспективалы генотиптерді анықтау үшін КАСИБ халықаралық питомнигінен алынған жаздық бидай сорттары мен желілерін ке-шенді бағалау болды. Зерттеу Қостанай облысында Қарабалық ауылшаруашылық тәжірибе станция-сында жүргізілді. Фенологиялық бақылаулар, морфометриялық талдау, NDVI бағалау, жапырақ таты-на төзімділігіне фитопатологиялық скрининг және құрғақшылыққа төзімділік индексі (DSI) анықтау қолданылды. Белгілердің өзгергіштігін бағалау және бейімделу заңдылықтарын анықтау үшін стати-стикалық әдістер қолданылды. Нәтижелер зерттелген үлгілер арасында айтарлықтай фенотиптік өзгергіштікті анықтады. Отыз алты генотип

NDVI жоғары мәндерін көрсетті (0,55–0,67), бұл биомассаның қарқынды жиналуын көрсетеді. 1000 дәннің салмағы 24-тен 57 г-ға дейін болды, оның ішінде 27 үлгі 40 г-нан асып түсті, бұл жоғары өнімділік әлеуетін көрсетеді. Фитопатологиялық скрининг жапырақ татына иммундық реакциясы бар 59 генотипті анықтады. Морфометриялық талдау соңғы түйінаралықтың ұзындығы (15–47 см) өнімділік пен құрғақшылыққа төзімділікпен байланысты негізгі бейімделу белгісі екенін көрсетті. Дән өнімділігі 17,7-ден 53,9 ц/га-ға дейін болды. Құрғақшылыққа төзімділік индексі (DSI) 0,26-дан 1,17-ге дейін болды, 23 генотип құрғақшылыққа төзімді деп жіктелді ( $DSI \leq 0,50$ ). Бұл нәтижелер КАСИБ коллекциясының жоғары генетикалық және фенотиптік әртүр-лілігін растайды және селекциялық бағдарламалар үшін бейімделгіш және жоғары өнімді генотип-терді анықтау үшін морфологиялық, физиологиялық және фитопатологиялық белгілерді біріктірудің тиімділігін көрсетеді.

**Түйін сөздер:** құрғақшылыққа төзімділік, егістікті бағалау, бидай, КАСИБ, абиотикалық стресс, құрғақшылық фенотипі, өнімділік тұрақтылығы

**Дәйексөз үшін:** Кумарбаева М.Т., Кохметова А.М., Кеишилов Ж.С., Харіпжанова А.І., Коваленко Н.М. (2026). Солтүстік Қазақстан жағдайында касиб бидай генофондын далалық жағдайда құрғақшылыққа төзімділігін бағалау // Research, results – Изденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 117–128. <https://doi.org/10.37884/4-2026/09> [In Eng.].

**Мүдделер қақтығысы:** авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

**Алғыс.** Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен орындалды (BR28712539).

*М.Т. Кумарбаева<sup>1\*</sup>, А.М. Кохметова<sup>1</sup>, Ж.С. Кеишилов<sup>1,2</sup>, А.І. Харіпжанова<sup>1</sup>,  
Н.М. Коваленко<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Институт биологии и биотехнологии растений, Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>НАО Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан;

<sup>3</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: madina\_kumar90@mail.ru

## ПОЛЕВАЯ ОЦЕНКА ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ КОЛЛЕКЦИИ ПШЕНИЦЫ КАСИБ В КАЗАХСТАНЕ

**Кумарбаева Мадина Талгаровна**, PhD, ведущий научный сотрудник лаборатории генетики и селекции Института биологии и биотехнологии растений, 050040, ул. Тимирязева, 45, Алматы, Казахстан  
E-mail: madina\_kumar90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5588-6772>;

**Кохметова Алма Мырзабековна**, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией генетики и селекции Института биологии и биотехнологии растений; 050040, ул. Тимирязева, 45, Алматы, Казахстан  
E-mail: gen\_kalma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0186-7832>;

**Кеишилов Женис Советканович**, магистр сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории генетики и селекции Института биологии и биотехнологии растений, 050040, ул. Тимирязева, 45, Алматы, Казахстан  
E-mail: Jeka-Sayko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2126-6951>;

**Харіпжанова Айдана Ісенбайқызы**, PhD сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, лаборатория генетики и селекции, Институт биологии и биотехнологии растений. 050040, ул. Тимирязева, 45, Алматы, Казахстан  
E-mail: aidankastar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7329-1449>;

**Коваленко Надежда Михайловна**, кандидат биологических наук, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: nadyakov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9577-8816>.

**Аннотация.** Пшеница (*Triticum aestivum* L.) является стратегически важной культурой для глобальной продовольственной безопасности, особенно в условиях растущей изменчивости климата и частоты засух. Выявление генотипов, сочетающих высокую продуктивность, устойчивость к болезням

и адаптивность к окружающей среде, остается ключевой задачей современной селекции. Целью данного исследования была всесторонняя оценка сортов и линий яровой пшеницы из международного питомника КАСИБ для выявления перспективных генотипов с высоким потенциалом урожайности и засухоустойчивостью. Исследование проводилось в Костанайской области на Карабалыкской сельскохозяйственной экспериментальной станции. Применялись фенологические наблюдения, морфометрический анализ, оценка NDVI, фитопатологический скрининг на устойчивость к листовой ржавчине и определение индекса засухоустойчивости (DSI). Для оценки изменчивости признаков и выявления закономерностей адаптации использовались статистические методы. Результаты показали значительную фенотипическую изменчивость среди изученных образцов. Тридцать шесть генотипов продемонстрировали высокие значения NDVI (0,55–0,67), что указывает на интенсивное накопление биомассы. Масса 1000 зерен варьировала от 24 до 57 г, при этом у 27 образцов она превышала 40 г, что отражает высокий потенциал продуктивности. Фитопатологический скрининг выявил 59 генотипов с иммунным ответом на листовую ржавчину. Морфометрический анализ показал, что длина последнего междоузлия (15–47 см) является ключевым адаптивным признаком, связанным как с продуктивностью, так и с засухоустойчивостью. Урожайность зерна варьировала от 17,7 до 53,9 ц/га. Индекс засухоустойчивости (DSI) варьировал от 0,26 до 1,17, при этом 23 генотипа были классифицированы как засухоустойчивые ( $DSI \leq 0,50$ ). Эти результаты подтверждают высокое генетическое и фенотипическое разнообразие коллекции KASIB и демонстрируют эффективность интеграции морфологических, физиологических и фитопатологических признаков для выявления адаптивных и высокоурожайных генотипов для селекционных программ.

**Ключевые слова:** засухоустойчивость, полевая оценка, пшеница, КАСИБ, абиотический стресс, фенотипирование засухи, стабильность урожая

**Для цитирования:** Кумарбаева М.Т., Кохметова А.М., Кеишилов Ж.С., Харипжанова А.І., Коваленко Н.М. (2026). Оценка засухоустойчивости в полевых условиях генофонда пшеницы касиб в северном Казахстане // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 117–128. <https://doi.org/10.37884/4-2026/09> [In Eng.].

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Благодарности:** данное исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета наук Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (BR28712539).

## Introduction.

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is the principal cereal crop for food security across the Eurasian steppe, where production is dominated by spring-sown, rainfed systems and therefore strongly constrained by seasonal water availability. In Kazakhstan, the largest wheat-growing areas are concentrated in the northern regions, where interannual precipitation variability and episodic droughts frequently determine both yield level and yield stability. Long-term climatic analyses for Kazakhstan show a clear warming trend (1950–2020) and demonstrate that wheat yields are significantly associated with early-summer drought conditions, underlining the high sensitivity of rainfed wheat production to moisture deficits [Avalbayev, 2024; FAO, 2023; CIMMYT, 2016; Kumarbayeva et al, 2025; Malysheva, 2023].

Northern Kazakhstan is expected to remain a drought-prone wheat belt under ongoing climate change, and modeling studies indicate that yield losses may intensify in vulnerable soil–farming zones unless adaptive technologies and improved cultivars are deployed. For example, scenario-based assessments for North Kazakhstan report substantial projected yield reductions under higher-emission pathways, with the largest penalties occurring in the more arid steppe environments. These risks are compounded by the inherently high yield variability typical of Kazakhstan’s rainfed systems, where limited water availability and short growing seasons constrain productivity and widen yield gaps. In this context, breeding and targeted cultivar deployment remain among the most cost-effective strategies to increase resilience, stabilize yields, and reduce production volatility.

A distinctive advantage for regional breeding in the Kazakhstan–Siberia Spring wheat belt is the availability of coordinated, multi-environment germplasm evaluation through the Kazakhstan–Siberia Network on Spring Wheat Improvement (KASIB). KASIB was established by CIMMYT to connect breeding programs and facilitate cooperative testing and exchange of elite spring wheat materials adapted to the agro-ecologies of Northern Kazakhstan and adjacent high-latitude environments. Over time, the KASIB nursery system has

generated valuable datasets and germplasm resources for analyzing genotype  $\times$  environment interactions and identifying broadly adapted, stress-tolerant lines. However, because drought expression is highly location- and season-specific (timing, intensity, and duration), the identification of drought-tolerant genotypes requires dedicated field evaluations in the target production environments, including the Kostanay region, which is among the key wheat-producing areas of Northern Kazakhstan [Fernandez, 1992; Ficher and Maurer, 1978; Lobel et al, 2011; Nyaupane et al, 2024].

Field-based drought screening is most informative when it integrates (i) grain yield performance under contrasting moisture regimes and (ii) quantitative drought tolerance indices that capture both productivity and stability. Widely used indices include the stress susceptibility index (SSI), which reflects yield reduction relative to the population mean (lower SSI indicates greater tolerance), and yield-based selection criteria such as tolerance (TOL) and mean productivity (MP), which summarize yield penalties and average performance across stress and non-stress conditions. In addition, the stress tolerance index (STI) proposed by Fernandez is especially useful for identifying genotypes that maintain high yield potential while also performing well under stress, making it attractive for breeding programs targeting both favorable and drought-affected seasons. When applied to well-designed field trials, these indices help distinguish “escape” (phenology-driven avoidance) from true tolerance and support robust ranking of germplasm for cultivar recommendation and parental selection [Reynalds et al, 2015; Semenov and Srtatonovitch, 2013; Singh et al, 2025; Trethowan et al, 2001].

Against this background, the present study evaluates field drought tolerance in KASIB wheat germplasm under the agro-climatic conditions of the Kostanay region in Northern Kazakhstan. Specifically, we (i) quantify grain yield responses under field moisture limitation, (ii) compute key drought tolerance indices to characterize productivity–stability trade-offs, and (iii) identify the most promising KASIB entries for use in regional breeding pipelines and potential cultivation in drought-prone environments. By linking standardized index-based screening with target-environment field phenotyping, this work contributes to accelerating the development and deployment of drought-resilient spring wheat cultivars for Northern Kazakhstan’s rainfed production systems.

The aim of this study was to evaluate drought tolerance in KASIB wheat germplasm under field conditions in Northern Kazakhstan using yield-based traits, drought tolerance indices, and physiological parameters, and to determine key traits associated with drought adaptation.

#### Research objectives:

To assess yield-related traits of KASIB wheat germplasm under field conditions in Northern Kazakhstan.

To evaluate drought tolerance using drought tolerance indices and identify genotypes with stable performance under water-limited conditions.

To determine physiological parameters, including NDVI, associated with biomass accumulation and drought adaptation.

To analyze relationships between yield-based traits, drought tolerance indices, and physiological indicators.

To identify key traits and promising wheat genotypes for use in breeding programs aimed at improving drought tolerance.

#### Materials and methods.

Phenotyping and genetic selection studies of the collection of wheat varieties and lines from the international nursery KASIB were conducted in the fields of the Karabalyk Agricultural Experimental Station in the Kostanay region.

Varieties and lines from the international nursery KASIB were used as study subjects. The 120 wheat accessions selected were characterized as having productivity potential and disease resistance. However, their drought tolerance was insufficient. Therefore, the current project involves screening wheat lines for drought tolerance and selecting promising lines characterized by an optimal combination of drought tolerance, leaf rust resistance, and high productivity. The plot area was 2–3 m<sup>2</sup>. The experiment was replicated 2–3 times. A range of economically valuable traits was studied, but this article focuses on a single indicator: grain yield. The experiment was carried out under field conditions during a single vegetation period (2025).

*Weather Conditions during the 2025 Growing Season.* Northern Kazakhstan is characterized by a sharply continental climate with late spring onset and frequent early autumn frosts. In some years, spring frosts may persist until 15–25 June, whereas the first autumn frosts are commonly observed between 15 and 20 September and may occasionally occur as early as 10–30 August. Such climatic conditions shorten the

frost-free period to 60–80 days, thereby limiting the productivity potential of late-maturing wheat cultivars. During the 2025 growing season, weather conditions in Kostanay region were generally characterized by moderate temperatures typical of the northern wheat-growing zone of Kazakhstan. In May, the average daily air temperature was +15.2°C, providing favorable conditions for seed germination and early seedling establishment. In June, the mean temperature increased to +19.6°C. The warmest month was July, with an average temperature of +20.4°C, which was considered optimal for heading and flowering of wheat. In August, temperatures slightly decreased to +19.2°C, creating favorable conditions for grain filling and maturation without severe heat or drought stress. By September, the average temperature declined markedly to +11.8°C, indicating the transition to autumn conditions and the completion of plant vegetation. Relative air humidity ranged from 50 % in May to 64 % in September. The driest conditions were observed in May, whereas from July onward humidity remained relatively stable at approximately 60% or higher, contributing to normal grain development and filling. Overall, the climatic conditions during the wheat growing season in Kostanay region could be characterized as moderately warm and sufficiently humid.

Phytopathological evaluation of the rust resistance of the experimental wheat material was conducted according to the method of R.A. McIntosh et al., 1995. This method was used to determine the infection prevalence and the infectious type of the disease (0 – immune, R – resistant, MR – moderately resistant, MS – moderately susceptible, S – susceptible). The Morocco wheat variety was used as the universally susceptible standard, and the Steklovidnaya-24 variety as the susceptible local standard.

Field drought tolerance of plants was assessed using stem morphological characteristics (plant height, internode length, and spikelet yield).

The drought tolerance index was calculated using the Fisher and Maurer formula (cited in [Yanchenko et al., 2004]):

$$DSI = (1 - Y / Y_p) / (1 - X / X_p), \quad (1)$$

where DSI is the drought tolerance index; Y is the variety yield under stress; Y<sub>p</sub> is the variety yield without stress; X is the average yield for all varieties under stress; X<sub>p</sub> is the average yield for all varieties without stress. Ecological plasticity parameters were calculated according to S.A. Eberhart and W.A. Russell [1966] as reported in: Zykin et al., 1984].

*Statistical analysis.* R-studio software was used to conduct a one-way analysis of variance (ANOVA) to evaluate the differences in productivity and resistance to leaf rust among genotypes and across years. Pearson correlation coefficients were calculated based on the mean values of the evaluated traits. PCA was conducted, and biplots were generated using R-studio software version R 3.5.3 [Core Team, 2018].

## Results.

Phenotyping and genetic selection studies of a collection of wheat varieties and lines from the international nursery KASIB were conducted in the Kostanay region on the fields of the Karabalyk Agricultural Experimental Station.

Phenological observations were conducted, which resulted in the identification of the earliest maturing samples, with heading dates from July 1 to 4, 2025. Thirty-six samples with high biomass index values (0.55–0.67) were identified: Stepnaya 259, Liniya 4-10-16, Liniya 22 ChS, Kazakstanskaya 10 (late-ripening standard), Astana 2, Omskaya 35, Lutescens 22–17, Lutescens 443, Silach, Element 22 (Erythr.85–08), etc.

A phytopathological screening for leaf rust resistance was conducted on wheat accessions. The severity of damage varied from immune (IT=0) to moderately susceptible (30 MS). Fifty-nine accessions with an immune-type response to leaf rust resistance were identified. Figures 1 and 2 present the results of boxplot analyses and histograms of the distribution density of morphological and physiological wheat traits: internode length, ear stand, plant height, DDC, and NDVI. The histograms demonstrate the nature of variation and the degree to which the distribution of each trait approximates normal values.

The weight of 1000 grains varied within the range of 24–57 g, the highest value was observed in Line 122/00i. 27 samples with high 1000-grain weight exceeding 40 g were selected: Stepnaya 245, Omskaya 35, Saratovskaya 29, Lutescens 8-108-1, Lutescens 37–17, Lutescens KS 14/09–2, SPChS 69, Silach, Erythrospermum 24841, Kargala 223, Kargala 228, Liniya 19003, Liniya 19029, Hordeiforme 69-08-2, Hordeiforme 2264, Hordeiforme 2383, Seymour, Bezenchukskaya 139, Hordeiforme 829, Hordeiforme 864, Hordeiforme 05-12-7, Leucurum 1506–36, Annushka, Luch 25, Hordeiforme 1790, Hordeiforme 254 st and

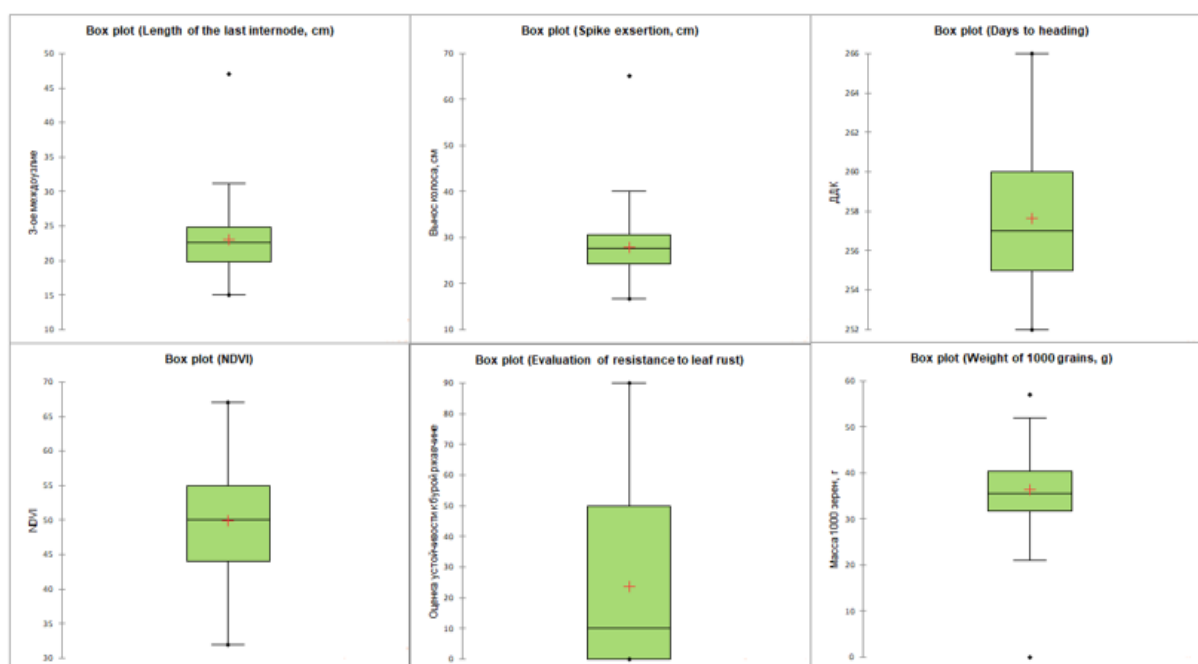


Fig 1. Boxplots analysis of the main morphophysiological characteristics of wheat in the conditions of the Kostanay region, 2025.

An assessment of field drought tolerance was conducted in the Kostanay region. A comprehensive morphometric study of wheat germplasm was conducted to evaluate their adaptive capacity to the region's arid conditions. In the Kostanay region, which is characterized by a more moderate level of drought compared to the Almaty region, the length of the last internode and ear emergence are important adaptive parameters determining the productivity and drought tolerance of wheat. Significant variability in these traits was identified, allowing us to establish the main patterns of adaptation in the northern zone. The length of the last internode varied from 15 to 47 cm, demonstrating a more pronounced vertical growth of wheat compared to the Almaty region. This is due to lower levels of heat stress and better moisture supply during tillering and booting.

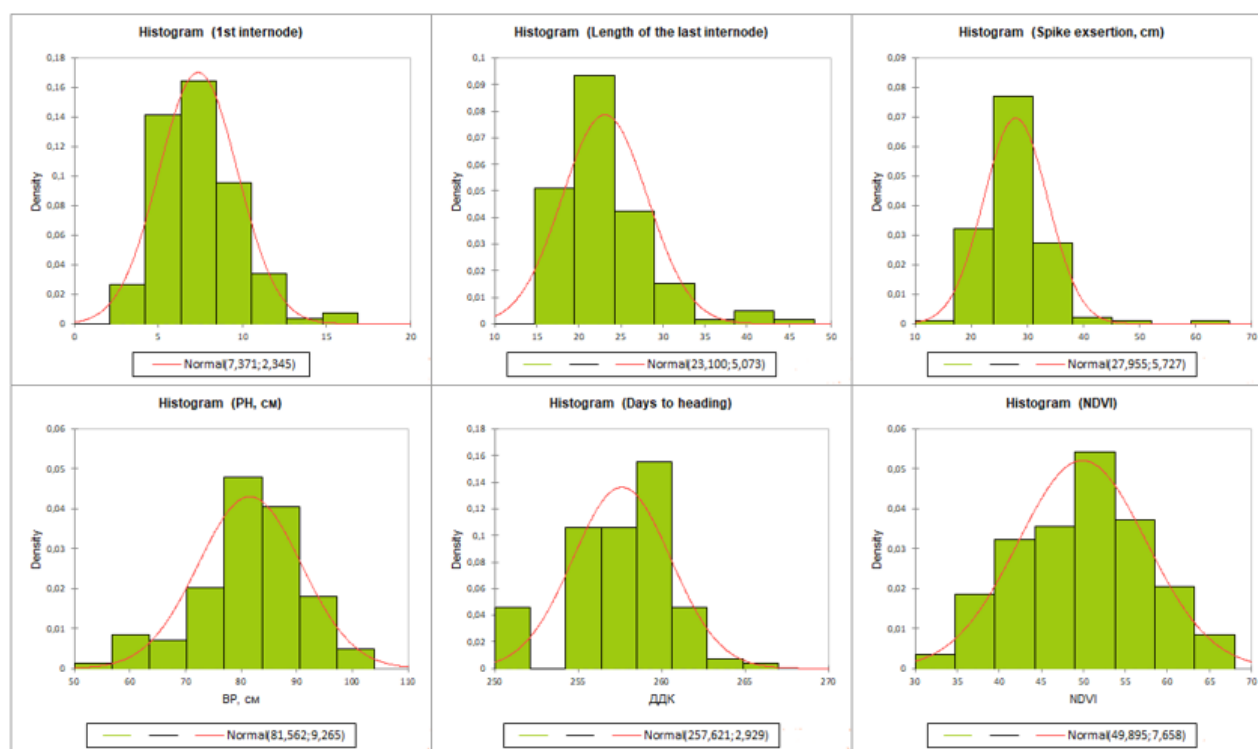


Fig. 2. Histograms of distribution of morphological and physiological characteristics of wheat in the conditions of Kostanay region, 2025.

Based on measurements of the last internode, the collection is divided into three groups. The first

group has a short internode (15–20 cm): *Lutescens* 22–17, *Lutescens* 1193, *Stolypinskaya* 2, *OmGAU-100*, 92/00i, 117/00i, 120/00i, *Element* 22, and the promising lines F7 and BC1F6. These varieties are characterized by a compact bush shape and a low ear position. In the Kostanay region, a short internode is not always an advantage, as the region's moderate climate allows plants to effectively develop stem biomass, while a low ear height can reduce ventilation and increase the risk of disease. The second group with an average internode spacing (20–28 cm): *Stepnaya* 259 (18.94 cm), *Lutescens* 1300 (23.54 cm), *Saratovskaya* 29 (22.8 cm), *Lutescens* 1103 (23.86 cm), *Liniya* 19003 (24.24 cm), *Omskaya* 35 (20.71 cm), *Lutescens* 8-108-1 (27.35 cm), *Lutescens* 90–12 (25.82 cm), *Sibirskaya* 21 (25.84 cm).

The selected samples demonstrate an optimal balance between growth, lodging resistance, drought tolerance, and the effectiveness of productive element formation. The third group with an elongated internode (28–47 cm): *Tyumenskaya Yubileinaya* (47 cm), *Gordeiforme* 05-12-7 (42 cm), *Nauryz* 6 (39.7 cm), *Gordeiforme* 829 (38.9 cm), *Tyumenochka* (34.8 cm), *Lutescens* 65 (30.24 cm). Tall plants are more competitive in light, but are more susceptible to lodging and have lower water efficiency. Nevertheless, in the conditions of the Kostanay region, where there is more moisture, such plants can develop high productivity and drought resistance.

In the Kostanay region, wheat ear heights ranged from 16.7 to 65.16 cm, indicating the collection's high diversity potential. Fourteen accessions with high ear heights (30–65 cm) were selected. Under optimal conditions in the Kostanay region, yields ranged from 17.7 to 53.9 centners per hectare, demonstrating a wide range of productivity among the samples studied. Average yields ranged from 47.4 to 52.6 centners per hectare, confirming the high potential of most varieties.

The statistical analysis revealed that the first internode length correlates positively with the second internode length ( $r = 0.406$ ,  $p < 0.05$ ) and the last internode length ( $r = 0.33$ ,  $p < 0.05$ ), indicating normal wheat stem growth dynamics. The relationships revealed point to genetic and physiological coordination of stem development. The second and last internode lengths show a high correlation ( $r = 0.563$ ,  $p < 0.01$ ). A moderate positive correlation between internode length and plant height (PH) ( $r = 0.482$  for the first internode and  $r = 0.395$  for the last) indicates that internode elongation is significantly related to plant height. Thousand-grain weight productivity showed a highly positive correlation with the length of the last internode ( $r = 0.612$ ,  $p < 0.01$ ), indicating a direct influence of stem morphology on the formation of wheat grain mass. The correlation between grain mass and the length of the second internode was highly significant ( $r = 0.446$ ,  $p < 0.01$ ), indicating the importance of stem structure for productivity. Ear emergence was positively associated with plant height ( $r = 0.417$ ,  $p < 0.01$ ) and NDVI ( $r = 0.288$ ,  $p < 0.05$ ), indicating a relationship between morphological traits and plant physiological potential.

Thus, as a result of studying the dynamics of biomass accumulation, 27 wheat accessions with a high biomass index and field drought tolerance in Kostanay region were selected. After assessing the field drought tolerance and drought tolerance index of the KASIB spring wheat collection, 23 accessions with a high biomass index, field drought tolerance ( $DSI \leq 0.50$ ), and high productivity were selected. Differences in the main yield indicators and the drought tolerance index (DSI) were identified. In the Kostanay region, yields ranged from 7.7 to 44.6 centners/ha, and in the Kostnay region, from 17.7 to 53.9 centners/ha. Six high-yielding samples with high field drought resistance and drought tolerance index were identified (*Gordeiforme* 2264, *Annushka*, *Kargala* 223, *Liniya* 19003, *Bezenchukskaya* 139 and *Leukurum* 1469–21).

### Discussion.

Drought is one of the most common environmental stressors affecting plant growth and development. By 2025, approximately 1.8 billion people are expected to face absolute water shortages, and 65 % of the world's population will live in water-stressed conditions. Water stress tolerance is a complex parameter that can be influenced by various characteristics that affect crop yield [Ingram and Bartels, 1996].

A key approach to developing adaptive and drought-tolerant varieties is hybridization using carefully selected source material. The effectiveness and pace of the breeding process in this area are largely determined by the volume and quality of genotype information accumulated at each stage of research. The main goal of KASIB is to improve the efficiency of spring wheat breeding in northern Kazakhstan and Siberia through the exchange of varieties and breeding material, as well as systematic interaction between specialists, including meetings and a coordinated multifactorial assessment of genetic resources [Morgunov, 2003].

A comprehensive assessment of adaptive traits enabled the identification of genotypes with high tolerance to drought conditions. The selection of 27 accessions with elevated biomass index and field drought

tolerance, as well as 23 genotypes combining low drought tolerance index values ( $DSI \leq 0.50$ ) with high productivity, confirms the effectiveness of integrated selection criteria. Significant variability in yield between regions (Almaty region - 7.7–44.6 c/ha; Kostanay region - 17.7–53.9 c/ha) reflects the influence of contrasting agroclimatic conditions on the realization of genetic potential and emphasizes the need to select forms with broad ecological adaptability.

An analysis of the drought tolerance index (DSI) among the studied KASIB wheat accessions showed that values ranged from 0.26 to 1.17, reflecting a wide range of adaptive responses to water stress. Twenty-three accessions with low values ( $DSI \leq 0.50$ ) were selected based on the drought tolerance index (table 1).

Table 1. Selected promising samples of spring wheat from the international nursery KASIB based on yield and drought resistance index.

| №  | Name of variety and line                       | Productivity, c/ha                      | DSI     | V, % | Bi    | S <sup>2</sup> d |       |
|----|------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------|------|-------|------------------|-------|
|    |                                                | Optimal conditions<br>(Kostanay region) | Average |      |       |                  |       |
| 1  | Stepnaya 245                                   | 42,3                                    | 37,3    | 0,45 | 14,16 | 1,48             | 5,44  |
| 2  | Stepnaya 253                                   | 32,7                                    | 29,4    | 0,54 | 13,24 | 1,39             | 3,96  |
| 3  | Stepnaya 259                                   | 25,1                                    | 23,3    | 0,37 | 9,95  | 1,30             | 2,33  |
| 4  | GVK 2127                                       | 26,9                                    | 23,5    | 0,56 | 13,54 | 1,05             | 3,32  |
| 5  | GVK 2161                                       | 29,6                                    | 24,6    | 0,76 | 25,69 | 0,95             | 6,43  |
| 6  | Lutescens 857                                  | 27,9                                    | 26,7    | 0,50 | 13,31 | 1,10             | 3,39  |
| 7  | Lutescens 932                                  | 29,4                                    | 24,1    | 0,75 | 25,89 | 1,51             | 6,43  |
| 8  | Lutescens 248/01                               | 38,5                                    | 28,3    | 0,96 | 38,27 | 1,47             | 11,60 |
| 9  | Lutescens 393/05                               | 27,7                                    | 25,2    | 0,38 | 9,54  | 1,30             | 2,47  |
| 10 | Line 4-10-16                                   | 32,5                                    | 29,5    | 0,37 | 9,52  | 0,46             | 2,90  |
| 11 | Line 22 CHS                                    | 35,9                                    | 32,1    | 0,46 | 11,50 | 0,78             | 3,82  |
| 12 | Lutescens 48-204-03                            | 32,4                                    | 29,5    | 0,39 | 7,11  | 1,03             | 2,19  |
| 13 | Lutescens 2028                                 | 29,3                                    | 25,2    | 0,62 | 14,35 | 1,20             | 3,82  |
| 14 | Lutescens 2102                                 | 37,8                                    | 26,1    | 1,06 | 53,32 | 1,11             | 14,64 |
| 15 | Lutescens 30                                   | 35,4                                    | 28,5    | 0,79 | 38,02 | 1,14             | 10,61 |
| 16 | Lutescens 65                                   | 37,7                                    | 29,6    | 0,80 | 34,83 | 0,87             | 10,54 |
| 17 | Lutescens 261                                  | 32,7                                    | 28,1    | 0,60 | 18,04 | 1,02             | 5,23  |
| 18 | Early-ripening standard<br>(Kazakhstanskaya 4) | 36,3                                    | 30,6    | 0,77 | 20,01 | 1,08             | 6,36  |
| 19 | Mid-season standard<br>(Kazakhstanskaya 3)     | 29,1                                    | 24,2    | 0,76 | 30,77 | 1,19             | 7,35  |
| 20 | Late-ripening standard<br>(Kazakhstanskaya 10) | 36,8                                    | 28,7    | 0,79 | 34,10 | 0,84             | 10,11 |
| 21 | In Memory of Aziev                             | 29,5                                    | 25,7    | 0,57 | 18,73 | 1,07             | 4,88  |
| 22 | Tertsia (Tertsia)                              | 24,1                                    | 15,4    | 1,04 | 53,89 | 1,01             | 9,40  |
| 23 | Astana 2                                       | 47,2                                    | 31,2    | 1,05 | 65,88 | 0,90             | 21,21 |
| 24 | Omskaya 35                                     | 32,6                                    | 23,4    | 0,95 | 66,72 | 1,15             | 14,78 |
| 25 | Saratovskaya 29                                | 31,8                                    | 25,6    | 0,81 | 30,89 | 0,53             | 8,06  |
| 26 | Lutescens 1103                                 | 22,5                                    | 20,4    | 0,70 | 23,45 | 0,97             | 4,53  |
| 27 | Erythrospermum 1119                            | 32,1                                    | 23,6    | 0,97 | 45,78 | 0,74             | 11,10 |
| 28 | Lutescens 8-108-1                              | 46,8                                    | 30,5    | 1,07 | 55,73 | 1,25             | 21,00 |
| 29 | Lutescens 22-17                                | 38,3                                    | 27,4    | 0,97 | 47,63 | 1,18             | 13,65 |
| 30 | Lutescens 37-17                                | 42,6                                    | 34,2    | 0,83 | 37,61 | 1,36             | 12,66 |

The coefficient of variation (V, %) showed a wide range of fluctuations from 6.93 % to 99.93%, which indicates high variability of genotypes according to the resistance trait. The regression coefficient (Bi) showed a wide range of fluctuations, from 0.46 to 1.63, indicating significant differences between varieties and lines in terms of ecological plasticity and yield stability. Analysis of the variance of deviations (S<sup>2</sup>d) confirmed significant differences in the degree of trait variability (from 1.63 to 27.93).

A correlation analysis was carried out to assess the relationships between morphological characteristics

(internode length, plant height, ear yield), phytopathological indicators (assessment of resistance to leaf rust, LDR) and productivity (weight of 1000 grains) in the conditions of the Kostanay region (table 2).

Table 2. Correlation relationships of structural and morphological traits of yield and drought resistance of KASIB wheat in the conditions of Kostanay region, 2025.

| Variables                       | Length of 1st internode, cm | Length of 1st internode, cm | Length of 1st internode, cm | Length of 1st internode, cm | Length of 1st internode, cm | Length of 1st internode, cm | Length of 1st internode, cm | Length of 1st internode, cm | Length of 1st internode, cm |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Length of 1st internode, cm     | 1                           | 0,406                       | 0,333                       | 0,482                       | 0,207                       | 0,056                       | 0,180                       | 0,248                       | 0,148                       |
| Length of 2nd internode, cm     | 0,406                       | 1                           | 0,563                       | 0,275                       | 0,090                       | 0,113                       | 0,171                       | 0,104                       | 0,446                       |
| Length of last internode, cm    | 0,333                       | 0,563                       | 1                           | 0,395                       | 0,091                       | 0,153                       | 0,130                       | -0,043                      | 0,612                       |
| VR, cm                          | 0,482                       | 0,275                       | 0,395                       | 1                           | 0,417                       | 0,195                       | 0,472                       | 0,165                       | 0,226                       |
| Ear elongation, cm              | 0,207                       | 0,090                       | 0,091                       | 0,417                       | 1                           | -0,027                      | 0,288                       | 0,232                       | 0,045                       |
| NDVI                            | 0,056                       | 0,113                       | 0,153                       | 0,195                       | -0,027                      | 1                           | 0,231                       | -0,129                      | 0,033                       |
| Leaf rust resistance assessment | 0,180                       | 0,171                       | 0,130                       | 0,472                       | 0,288                       | 0,231                       | 1                           | -0,047                      | 0,224                       |
| 1000-kernel weight, g           | 0,248                       | 0,104                       | -0,043                      | 0,165                       | 0,232                       | -0,129                      | -0,047                      | 1                           | -0,094                      |
| Length of 1st internode, cm     | 0,148                       | 0,446                       | 0,612                       | 0,226                       | 0,045                       | 0,033                       | 0,224                       | -0,094                      | 1                           |

The genotypes we identified (Gordeiforme 2264, Annushka, Kargala 223, Liniya 19003, Bezenchukskaya 139, and Leykurum 1469–21), which combine high yield with low DSI values, are of particular breeding value as sources of alleles that ensure stable productivity under water stress. Overall, the results confirm that the integration of morphometric, physiological, and production parameters is a valid strategy for identifying genotypes with sustainable yield potential under stressful conditions.

Our results generally correlate with the findings of Evdokimov et al. (2017), who developed a broad pool of genotypes with high adaptive potential to arid environmental factors in Siberia and Kazakhstan. The varieties and lines selected by the authors (including 383-MS, 452-MS, Kargala 303, Kargala 447, Altyn shygys, Altyn dala, Nauryz-6, and others) are characterized not only by pronounced tolerance to water stress but also by the ability to maintain productivity under variable hydrothermal conditions, reflecting their comprehensive adaptability. Importantly, genotypes with a combination of drought tolerance and high yields under adequate moisture conditions are of greatest breeding value, as these forms ensure the stability of agroecosystems in years with contrasting moisture conditions. Additionally, it was demonstrated that individual varieties (Gordeiforme 91-25-5, Gordeiforme 98-42-1, Altyn Dala) exhibit high ecological plasticity, demonstrating a wide range of adaptive responses and the effectiveness of their production regulation mechanisms. Taken together, this indicates that the use of such genotypes in breeding programs not only improves resistance to abiotic stress but also optimizes yield potential in various agroecological zones. This is fully consistent with the results of this study and underscores the importance of an integrative approach to evaluating source material.

The correlations identified in the current study indicate the coordinated nature of stem morphogenesis and its significant contribution to productivity. Positive associations between internode lengths, particularly the high correlation between the second and last, reflect the coordinated regulation of linear growth determined by genetic and physiological mechanisms. The moderate relationship between internode length and plant

height suggests that height variability is determined primarily by the degree of internode elongation. High positive correlations between internode length, especially the last, and thousand-kernel weight confirm the role of the stem as a donor-conducting system, ensuring the transport of assimilates to the ear. The positive association between ear germination, plant height, and NDVI indicates the integration of morphological and physiological traits, with NDVI serving as an indicator of photosynthetic activity and biomass accumulation, which influence reproductive efficiency. The obtained results are consistent with the data of Tazhibayeva T.L. and Abugalieva A.I. (2018), which demonstrated that drought is the key factor limiting wheat productivity in Kazakhstan, necessitating a comprehensive assessment of genotype adaptability. The authors emphasize the effectiveness of integrating morphological, physiological, and biochemical parameters, including NDVI as an indicator of biomass accumulation and photosynthetic activity, and free proline content as a marker of stress resistance. The high variability of traits identified and the selection of genotypes with high NDVI and proline values confirm that resistance is developed through a combination of interconnected mechanisms. In the context of our data, this confirms the feasibility of an integrated approach to selection, taking into account both the morphostructural characteristics and the physiological state of plants.

The results obtained in this study are consistent with the findings of Kalybekov Zh.T. et al. (2022), who, while evaluating a spring soft wheat collection in the Aktobe region, identified 20 genotypes with the highest integrated drought tolerance indices. These included primarily Kazakh-bred accessions, including a standard variety, as well as several promising introduced varieties. The authors demonstrated that genotypes selected based on a combination of traits are characterized by increased productivity stability and can reduce agro-ecological risks in the face of interannual variability in moisture availability. Of particular importance is the use of a system of complex indices, which ensures the integration of various drought tolerance components, thereby increasing the accuracy of selection and the validity of breeding decisions. The practical significance of the results and their potential for further commercialization were confirmed by the selection of 27 samples with a high biomass index, field drought resistance, and high productivity, which will be directly included in the breeding process as candidates for new wheat varieties of interest for breeding to improve wheat drought tolerance.

### Conclusion.

The conducted research allowed for a comprehensive assessment of the adaptive and productive potential of the KASIB spring wheat collection in the contrasting agroecological conditions of Kazakhstan. The results confirm that the stability and productivity of genotypes are formed as a result of the complex interaction of morphological, physiological, and genetically determined traits. In the Kostanay region, characterized by relatively favorable hydrothermal conditions, genotypes combining leaf rust resistance, drought tolerance, and high productivity were identified. The use of the NDVI index allowed for effective differentiation of accessions by biomass accumulation and photosynthetic activity, confirming its high informative value as an integral physiological indicator. Correlation analysis revealed statistically significant relationships between morphometric traits and productivity factors. Internode length and plant height were found to play a key role in determining yield, reflecting the efficiency of growth and the redistribution of assimilates. Particularly significant is the positive correlation between the length of the last internode and the thousand-kernel weight, indicating the functional role of the upper stem in promoting grain filling. Positive correlations between NDVI and morphometric parameters confirm that the level of photosynthetic activity is closely linked to plant architecture and its production potential. Thus, morphostructural characteristics can be considered reliable indicators in breeding selection. A comparative analysis between the Almaty region, characterized by stressful conditions with a moisture deficit, and the Kostanay region, which presents more optimal conditions, revealed significant variability in yield potential. This underscores the importance of evaluating genotypes in different agro-ecological zones, as drought tolerance and productivity stability are most fully demonstrated under contrasting environmental conditions. Selected genotypes with low drought tolerance index values ( $DSI \leq 0.50$ ), high biomass index, and high yield demonstrate the ability to effectively adapt to water stress conditions while maintaining high productivity. Of particular breeding value are the genotypes Gordeiforme 2264, Annushka, Kargala 223, Liniya 19003, Bezenchukskaya 139, and Leukurum 1469-21, which are characterized by a combination of high yield, leaf rust resistance, and pronounced drought tolerance. These varieties can be considered promising donors of valuable traits for further breeding programs aimed at increasing the adaptability and stability of wheat yield. Their use will expand the genetic base for breeding and improve the efficiency of developing new varieties resistant to abiotic and biotic stresses.

Overall, the obtained results confirm that the integration of morphological, physiological, and production indicators is a valid and effective approach for identifying genotypes with sustainable yield potential. The use of comprehensive selection criteria, including NDVI and the drought tolerance index, allows for increased accuracy in breeding decisions and accelerates the development of adaptive varieties. Further research should focus on a more in-depth study of the genetic mechanisms underlying the identified traits, as well as the implementation of molecular methods to enhance the efficiency of breeding in a changing climate.

## REFERENCES

- Avalbaev A.M. (2024). Drought tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants: Physiological and biochemical indicators under water deficit. FAO AGRIS. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122613/records/66f3da5bdb9bf9ac61020230> [in Eng.]
- Blum A. (2011). Drought resistance—is it really a complex trait? *Functional Plant Biology*. 38. Pp. 753–757. <https://doi.org/10.1071/FP11101> [in Eng.]
- CIMMYT. (2016). Kazakhstan–Siberia Network on Spring Wheat Improvement (KASIB): Annual Report. CIMMYT. —Mexico City, Mexico. [in Eng.]
- Evdokimov M.G., Yusov V.S., Morgounov A.I., Zelensky Yu.I. (2017). Drought tolerance gene pool in developing adaptive varieties of durum wheat identified in study nurseries under the Kazakhstan-Siberian program. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektzii // Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 21(5). Pp. 515–522. <https://doi.org/10.18699/VJ17.23-o> [in Eng.]
- FAO. (2023). FAOSTAT Statistical Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. —Rome, Italy. [in Eng.]
- Fernandez G.C.J. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress*. AVRDC. — Tainan, Taiwan. Pp. 257–270. [in Eng.]
- Fischer R.A., Maurer R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses // *Australian Journal of Agricultural Research*. 29. Pp. 897–912. <https://doi.org/10.1071/AR9780897> [in Eng.]
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. — Cambridge, UK. [in Eng.]
- Ingram J., Bartels D. (1996). The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 47(1). Pp. 377–403. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.47.1.377> [in Eng.]
- Kalybekova Zh.T., Tsygankov V.I., Zuev E.V., Novikova L.Yu. (2022). Using drought tolerance indices in studying a collection of spring soft wheat in the Aktobe region. *Transactions on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 183(3). Pp. 85–95. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-3-85-95> [in Rus.]
- Kumarbaeva M., Kokhmetova A., Keishilov Zh., Bolatbekova A., Bakhytuly K., Kovalenko N. (2025). Identification of new sources of wheat resistance to various diseases // *Izdenister, natizheler – Issledovaniya, rezul'taty*. — A. No. 3. Pp. 314–324. <https://doi.org/10.37884/3-2025/30> [in Eng.]
- Malysheva A.A., Kokhmetova A.M., Kumarbaeva M.T., Keishilov Zh.S., Dubekova S. (2023). Molekulyarno-geneticheskij skringing Lr-genov ustojchivosti u obraztsov myagkoj yarovoj pshenitsy v usloviyakh yugo-vostoka Kazakhstana // *Izdenister, natizheler – Issledovaniya, rezul'taty*. — A. №3 (99). Pp. 92–99. <https://doi.org/10.37884/1-2023/08> [in Rus.]
- McIntosh R.A., Wellings C.R., Park R.F. (1995). *Wheat Rusts: An Atlas of Resistance Genes*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-0083-0> [in Eng.]
- Morgounov A.I. (2003). Results and potential of the collaboration in the Kazakhstan-Siberian wheat breeding network. *Vestnik regionalnoy seti po vnedreniyu sortov pshenitsy i semenovodstvu // Bulletin of the Regional Network for Wheat Variety Introduction and Seed Production*. 1(4). Pp. 7–15. [in Eng.]
- Lobell D.B., Schlenker W., Costa-Roberts J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*. 333. Pp. 616–620. <https://doi.org/10.1126/science.1204531> [in Eng.]
- Nyaupane S. et al. (2024). Drought stress effect, tolerance, and management in wheat. *Cogent Food & Agriculture*. 10. Article 2296094. <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2296094> [in Eng.]
- Reynolds M., Tattaris M., Cossani C.M., Ellis M., Yamaguchi-Shinozaki K., Pierre C.S. (2015). Exploring genetic resources to increase adaptation of wheat to climate change. *Crop Science*. 55. Pp. 23–37. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.09.0655> [in Eng.]
- Semenov M.A., Stratonovitch P. (2013). Adapting wheat ideotypes for climate change: Accounting for uncertainties in future climate. *Theoretical and Applied Climatology*. 113. Pp. 215–224. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0783-1> [in Eng.]
- Singh C., Yadav S., Khare V., Gupta V., Patial M., Sharma A.K. (2025). Wheat drought tolerance: Unveiling a synergistic future with conventional and molecular breeding strategies. *Plants*. 14(7). Article 1053. <https://doi.org/10.3390/plants14071053> [in Eng.]
- Tazhibayeva T.L., Abugalieva A.I. (2018). Drought tolerance of wheat introgressive forms // *Journal of Geography and Environmental Management*. 3(50). Pp. 70–79. [in Eng.]
- Trethowan R.M., Crossa J., van Ginkel M., Rajaram S. (2001). Relationships between genotype × environment interaction and genetic correlations of grain yield in spring wheat. *Crop Science*. 41. Pp. 146–153. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.411146x> [in Eng.]
- Yanchenko V.I., Rozova M.A., Melnik V.M. (2004). Development of highly adaptive varieties of the Siberian ecotype using the gene pool of drought-resistant durum spring wheat. *Vestnik regionalnoy seti po vnedreniyu sortov pshenitsy i semenovodstvu // Bulletin of the Regional Network for Wheat Variety Introduction and Seed Production*. — A., 1–2. (7–8):31–36. [in Eng.]
- Zykin V.A., Meshkov V.V., Sapega V.A. (1984). *Parametry ekologicheskoy plastichnosti selskokhozyaystvennykh rasteniy, ikh raschet i analiz [Parameters of Ecological Flexibility in Agricultural Plants: Calculation and Analysis]*. — Novosibirsk. [in Rus.]

**Kumarbayeva Madina Talgarovna** — Conceptualization; Data curation; Formal analysis; Investigation; Methodology; Roles/Writing – original draft; and Writing – review & editing;

**Kokhmetova Alma Myrzabekovna** — Conceptualization; Data curation; Formal analysis; Investigation; Methodology; Roles/Writing – original draft; and Writing – review & editing;

**Keishilov Zhenis Sovetkanovich** — Resources; Software; Supervision; Validation; Visualization; Roles/Writing – original draft; and Writing – review & editing;

**Kharipzhanova Aidana** — Resources; Software; Supervision; Validation; Visualization; Roles/Writing – original draft; and Writing – review & editing;

**Kovalenko Nadezhda** — Resources; Software; Supervision; Validation.



**A.I. Sidorik<sup>1</sup>, G.A. Zvyagin<sup>2\*</sup>, K.P. Buzovskiy<sup>1</sup>, A.D. Sidorik<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>«Olzha Agro» LLP, Kostanay, Kazakhstan;

<sup>2</sup>NJSC S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan.

E-mail: [regor1984111@rambler.ru](mailto:regor1984111@rambler.ru)

## COMPARATIVE ASSESSMENT OF SPRING WHEAT RESPONSE TO FOLIAR TREATMENTS IN THE KOSTANAY REGION

**Alexander I. Sidorik**, PhD doctoral student, Head of the Research and Development Department, «Olzha Agro» LLP, Kazakhstan, 110000, Kostanay, Nazarbayev ave., 170

E-mail: [alexandrsidorik@mail.ru](mailto:alexandrsidorik@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4325-1478>;

**Grigoriy A. Zvyagin**, PhD-Senior Lecturer, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Kazakhstan, 010000, Astana, 62, Pobedy ave

E-mail: [regor1984111@rambler.ru](mailto:regor1984111@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8779-5122>;

**Kirill P. Buzovskiy**, agronomist-technician, Olzha Agro LLP, Kazakhstan, 110000, Kostanay, Nazarbayev ave., 170

E-mail: [hkhkirillb@gmail.com](mailto:hkhkirillb@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0004-9615-8458>;

**Anzhelika D. Sidorik**, Laboratory Assistant, Olzha Agro LLP, Kazakhstan, 110000, Kostanay, Nazarbayev ave., 170

E-mail: [angel3448@mail.ru](mailto:angel3448@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0006-4798-7529>.

**Abstract.** *Introduction.* Increasing climate variability and the growing frequency of drought events have intensified the need to develop effective approaches for improving the productivity and grain quality of spring wheat. The application of modern foliar biostimulants and plant growth regulators capable of enhancing plant tolerance to abiotic stresses represents a promising strategy. *Materials and Methods.* The study was conducted in 2025 at Olzha Sadchikovskoye LLP, Kostanay Region, Kazakhstan, using the spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar Kanyuk. A large-scale strip-trial experiment covering 794.1 ha was established to evaluate the effects of «Zeromax Phos» (0.3 L ha<sup>-1</sup>), an enzyme-based biostimulant (0.25 L ha<sup>-1</sup>), and MEGAVit (2.0 L ha<sup>-1</sup>). Grain yield was assessed by whole-plot harvest accounting and sample sheaf analysis. Agroclimatic conditions were characterized using ERA5-Land data. Descriptive statistics, correlation analysis, and regression analysis were applied. *Results.* The highest agronomic performance was achieved with «Zeromax Phos», which increased grain yield to 35.4 c ha<sup>-1</sup>, exceeding the control by 1.7 c ha<sup>-1</sup> (5.0 %), while improving grain test weight by 34 g L<sup>-1</sup>. The highest biological yield (61.07 c ha<sup>-1</sup>) was recorded in the «MEGAVit» treatment. A strong positive correlation was identified between plant height and biological yield ( $r = 0.929$ ,  $p < 0.001$ ). *Discussion.* The results indicate that anti-stress foliar treatments have considerable potential under conditions of periodic water deficit. However, the findings should be confirmed in randomized experiments with an adequate number of replications. *Conclusion.* Under the agroclimatic conditions of the 2025 growing season, «Zeromax Phos» proved to be the most promising treatment for practical agricultural use, providing higher grain yield and improved grain quality. «MEGAVit» demonstrated a high potential for enhancing biological productivity and warrants further evaluation in multi-factor experiments with sufficient replication.

**Keywords:** biostimulants, biological yield, grain quality, foliar application, colloidal silver, elicitors, nanocarbon

**For citation:** Sidorik A.I., Zvyagin G.A., Buzovskiy K.P., Nurushev M.Zh., Sidorik A.D. (2026).

Comparative assessment of spring wheat response to foliar treatments in the Kostanay region // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 129–145. <https://doi.org/10.37884/4-2026/10> [In Russ.]

**Conflict of interest:** the authors declare no conflicts of interest.

**Acknowledgment / Funding.** *This study was carried out within the framework of Project BR22885719, «Development and implementation of sustainable farming systems for profitable agricultural production under changing climate conditions across different soil and climatic zones of Kazakhstan,» under the project activity «Agroecological assessment of agricultural lands and the design of adaptive landscape farming systems based on GIS technologies to optimize soil fertility management».*

**А.И.Сидорик<sup>1</sup>, Г.А.Звягин<sup>2\*</sup>, К.П. Бузовский<sup>1</sup>, А.Д. Сидорик<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>«ОЛЖА АГРО» ЖШС, Қостанай, Қазақстан;

<sup>2</sup>«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Астана, Қазақстан.

E-mail: regor1984111@rambler.ru

## ҚОСТАНАЙ ОБЛЫСЫНДА ЖАЗДЫҚ БИДАЙДЫҢ ЖАПЫРАҚТЫҚ ӨНДЕУЛЕРГЕ ЖАУАП РЕАКЦИЯСЫН САЛЫСТЫРМАЛЫ БАҒАЛАУ

**Сидорик Александр Иванович**, PhD-докторант, ғылыми-зерттеу бөлімінің жетекшісі, «Олжа Агро» ЖШС, Қазақстан, 110000, Қостанай, Назарбаев даңғылы, 170-үй

E-mail: alexandrsidorik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4325-1478>;

**Звягин Григорий Александрович**, PhD, аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан, 010000, Астана, Жеңіс даңғылы, 62-үй

E-mail: regor1984111@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8779-5122>;

**Бузовский Кирилл Петрович**, агроном-техник, «Олжа Агро» ЖШС, Қазақстан, 110000, Қостанай, Назарбаев даңғылы, 170-үй

E-mail: hhhkirillb@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-9615-8458>;

**Сидорик Анжелика Дмитриевна**, лаборант, «Олжа Агро» ЖШС, Қазақстан, 110000, Қостанай Назарбаев даңғылы, 170-үй

E-mail: angel3448@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-4798-7529>.

**Аннотация.** *Kipicne.* Климаттың өзгергіштігінің күшеюі және құрғақшылық кезеңдерінің жиілеуі жаздық бидайдың өнімділігі мен дән сапасын арттырудың тиімді тәсілдерін іздестірудің маңыздылығын арттыруда. Болашағы зор бағыттардың бірі – өсімдіктердің абиотикалық стресс факторларына төзімділігін арттыратын заманауи жапырақ арқылы қолданылатын биостимуляторлар мен өсу реттегіштерін пайдалану. *Материалдар мен әдістер.* Зерттеулер 2025 жылы Қостанай облысындағы «Олжа Садчиковское» ЖШС-де Канюк сортының жаздық жұмсақ бидайы егістігінде жүргізілді. Өндірістік тәжірибе 794,1 га алаңда strip-trial форматында ұйымдастырылды. «Зеромакс Фос» (0,3 л/га), ферменттік биостимулятор (0,25 л/га) және «Мегавит» (2,0 л/га) препараттарының әсері зерттелді. Өнімділік тұтас есепке алу және сынамалық бауларды талдау әдістерімен анықталды. Агроклиматтық жағдайлар ERA5-Land деректері бойынша бағаланды. Деректерді өңдеу үшін сипаттамалық статистика, корреляциялық және регрессиялық талдау әдістері қолданылды. *Нәтижелер.* Ең жоғары шаруашылық тиімділік «Зеромакс Фос» препаратын қолданғанда байқалды: өнімділік 35,4 ц/га құрап, бақылау нұсқасынан 1,7 ц/га-ға (5,0 %) жоғары болды, ал дәннің натурасы 34 г/л-ге артты. Ең жоғары биологиялық өнімділік (61,07 ц/га) «Мегавит» препаратын қолданғанда тіркелді. Өсімдік биіктігі мен биологиялық өнімділік арасында жоғары оң корреляциялық байланыс анықталды ( $r = 0,929$ ;  $p < 0,001$ ). *Талқылау.* Алынған нәтижелер ылғал тапшылығы жағдайында антистресстік жапырақтық өңдеулерді қолданудың перспективалы екенін көрсетті. Дегенмен, анықталған айырмашылықтарды рандомизацияланған және жеткілікті қайталанымдары бар тәжірибелерде қосымша растау қажет. *Қорытынды.* 2025 жылғы вегетациялық кезең жағдайында өндірістік қолдану үшін ең перспективалы препарат «Зеромакс Фос» болып анықталды, ол өнімділікті арттырып, дәннің тауарлық сапасын жақсартты. «Мегавит» препараты биологиялық өнімділікті арттырудың жоғары әлеуетін көрсетті және қайталаным саны

жеткілікті көпфакторлы тәжірибелерде қосымша зерттеуді қажет етеді.

**Түйін сөздер:** биостимуляторлар, биологиялық өнімділік, дән сапасы, жапырақ арқылы қоректендіру, коллоидты күміс, элиситорлар, нанөкөміртегі

**Дәйексөз үшін:** Сидорик А.И., Звягин Г.А., Бузовский К.П., Нурушев М.Ж., Сидорик А.Д. (2026). Қостанай облысында жаздық бидайдың жапырақтық өңдеулерге жауап реакциясын салыстырмалы бағалау // Research, results – Изденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 129–145. <https://doi.org/10.37884/4-2026/10> [In Russ.]

**Мүдделер қақтығысы:** авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

**Алғыс / Қаржыландыру.** Бұл зерттеу BR22885719 «Қазақстанның әртүрлі топырақ-климаттық аймақтарында климаттың өзгеруі жағдайында ауыл шаруашылығы өнімдерін рентабельді өндіруге арналған тұрақты егіншілік жүйелерін әзірлеу және енгізу» жобасы аясында, «Топырақ құнарлылығын оңтайландыру жолдарын шешу үшін ГАЗ технологиялары негізінде жерлерге агроэкологиялық бағалау жүргізу және бейімделген-ландшафтық егіншілік жүйелерін жобалау» жобалық іс-шарасы бойынша орындалды.

**А.И. Сидорик<sup>1</sup>, Г.А. Звягин<sup>2\*</sup>, К.П. Бузовский<sup>1</sup>, А.Д. Сидорик<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ТОО «ОЛЖА АГРО», Қостанай, Қазақстан;

<sup>2</sup>НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», Астана, Қазақстан.

E-mail: [regor1984111@rambler.ru](mailto:regor1984111@rambler.ru)

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОТКЛИКА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ЛИСТОВЫЕ ОБРАБОТКИ В КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ

**Сидорик Александр Иванович**, PhD-докторант, руководитель научно-исследовательского отдела, ТОО «Олжа Агро», Казахстан, 110000, Костанай, пр. Назарбаева, дом 170

E-mail: [alexandersidorik@mail.ru](mailto:alexandersidorik@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4325-1478>;

**Звягин Григорий Александрович**, PhD, старший преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Казахстан, 010000, Астана, пр. Победы, дом 62

E-mail: [regor1984111@rambler.ru](mailto:regor1984111@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8779-5122>;

**Бузовский Кирилл Петрович**, агроном-техник, ТОО «Олжа Агро», Казахстан, 110000, Костанай, пр. Назарбаева, дом 170

E-mail: [hkhkirillb@gmail.com](mailto:hkhkirillb@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0004-9615-8458>;

**Сидорик Анжелика Дмитриевна**, лаборант, ТОО «Олжа Агро», Казахстан, 110000, Костанай, пр. Назарбаева, дом 170

E-mail: [angel3448@mail.ru](mailto:angel3448@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0006-4798-7529>.

**Аннотация.** *Введение.* В условиях усиления климатической изменчивости и учащения засухливых периодов возрастает необходимость поиска эффективных приемов повышения продуктивности и качества зерна яровой пшеницы. Перспективным направлением является применение современных листовых биостимуляторов и регуляторов роста, способных повышать устойчивость растений к абиотическим стрессам. *Материалы и методы.* Исследования проведены в 2025 году в ТОО «Олжа Садчиковское» Костанайской области на посевах яровой мягкой пшеницы сорта Канюк. Производственный опыт площадью 794,1 га выполнен в формате strip-trial. Изучали действие препаратов «Зеромакс Фос» (0,3 л/га), ферментного биостимулятора (0,25 л/га) и «Мегавит» (2,0 л/га). Урожайность определяли методом сплошного учета и анализа пробных снопов. Агроклиматические условия оценивали по данным ERA5-Land. Применяли описательную статистику, корреляционный и регрессионный анализ. *Результаты.* Наибольший хозяйственный эффект обеспечил препарат «Зеромакс Фос», повысивший урожайность до 35,4 ц/га, что на 1,7 ц/га (5,0 %) выше контроля, а также увеличивший массу зерна на 34 г/л. Наибольшая биологическая урожайность (61,07 ц/га) получена при применении препарата «Мегавит». Установлена сильная положительная корреляция между высотой растений и биологической урожайностью ( $r = 0,929$ ;  $p < 0,001$ ). *Обсуждение.* Полученные данные свидетельствуют о перспективности применения антистрессовых листовых обработок в условиях периодического дефицита

влаги, однако требуют подтверждения в опытах с рандомизацией и достаточным числом повторностей. **Заключение.** В условиях вегетационного сезона 2025 года наиболее перспективным препаратом для производственного применения оказался «Зеромакс Фос», обеспечивший повышение урожайности и улучшение товарных качеств зерна. Препарат «Мегавит» продемонстрировал высокий потенциал формирования биологической продуктивности и требует дальнейшей проверки в многофакторных опытах с достаточным количеством повторностей.

**Ключевые слова:** биостимуляторы, биологическая урожайность, качество зерна, листовые подкормки, коллоидное серебро, элиситоры, наноуглерод

**Для цитирования:** Сидорик А.И., Звягин Г.А., Бузовский К.П., Нурушев М.Ж., Сидорик А.Д. (2026). Сравнительная оценка отклика яровой пшеницы на листовые обработки в Костанайской области // // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 129–145. <https://doi.org/10.37884/4-2026/10> [In Russ.]

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Благодарность / финансирование.** Данное исследование выполнено в рамках проекта BR22885719 «Разработать и внедрить устойчивые системы земледелия для рентабельного производства сельскохозяйственной продукции в условиях изменяющегося климата для различных почвенно-климатических зон Казахстан» по проектному мероприятию: «Агроэкологическая оценка земель и проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия на основе ГИС-технологий для решения путей оптимизации плодородия почв».

## Введение.

В результате дефицита элементов питания в почве возникает необходимость поиска альтернативных средств и приёмов увеличения урожайности сельскохозяйственных культур [Isajchev и др., 2023: 258]. При разработке этих технологий необходим учет всех природных факторов, влияющих на урожайность и качество зерновых культур [Galeev, 2014: 96; Kabanov, 2016: 133].

Производство яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в степной зоне Северного Казахстана функционирует в условиях жесткого лимитирования ресурсов, где влагообеспеченность и доступность элементов минерального питания являются ключевыми факторами, определяющими продуктивность [Al'bert и др., 2022: 33–40]. Традиционная парадигма интенсификации, опирающаяся исключительно на внесение минеральных удобрений, в условиях резко континентального климата и специфических почвенных условий достигает предела своей эффективности.

Для достижения высокой продуктивности и устойчивости земледелия, практика использования удобрений в Республике Казахстан должна основываться на концепции создания и поддержания оптимального уровня содержания элементов питания в почве. Поэтому применение рациональных норм минеральных удобрений и использование различных препаратов регуляторов роста под сельскохозяйственные культуры – наиболее существенный резерв повышения урожайности сельскохозяйственных культур и улучшения качества продукции растениеводства [Eleshev, 2015: 138–148; Kenenbaev и др., 2023: 111–121].

В последние годы особое внимание исследователей уделяется применению листовых подкормок и биостимуляторов как инструментов повышения адаптивности зерновых культур к стрессовым условиям окружающей среды. По данным многочисленных исследований, обработка растений биологически активными веществами способствует оптимизации фотосинтетической деятельности, повышению эффективности использования элементов питания и улучшению водного режима растений [Yakhin, 2017; Patrick du Jardin, 2015: 3–14].

В условиях засухи и высоких температур наиболее перспективными считаются препараты, обладающие антистрессовым действием. Согласно данным Roupheal и Colla, использование биостимуляторов позволяет активизировать физиологические механизмы устойчивости растений к абиотическим стрессам, повышая эффективность использования влаги и элементов минерального питания [Roupheal, 2020]. Аналогичные результаты были получены Calvo et al., которые отмечают способность биостимуляторов усиливать метаболические процессы, стимулировать развитие корневой системы и поддерживать продукционный процесс при неблагоприятных условиях среды [Calvo, 2014: 3–41].

Одним из перспективных направлений является использование элиситоров, способных запустить механизмы системной приобретенной устойчивости растений. Элиситорные препараты активи-

руют синтез защитных соединений, антиоксидантных ферментов и сигнальных молекул, что способствует повышению устойчивости растений к биотическим и абиотическим стрессам [Walters, 2013: 1263–1280]. В последние годы значительный интерес вызывают препараты на основе наночастиц серебра, обладающие одновременно стимулирующим и фунгистатическим действием.

Не менее перспективным направлением является применение наноуглеродных соединений и фуллеренов в растениеводстве. Исследования показывают, что наноуглерод способен участвовать в регуляции энергетического обмена клеток, снижать интенсивность окислительного стресса и повышать эффективность фотосинтетических процессов [Tripathi, 2017: 2–12]. Использование препаратов на основе фуллеренов способствует увеличению биомассы растений, улучшению формирования генеративных органов и повышению урожайности сельскохозяйственных культур [Zaytseva, 2016].

Несмотря на значительное количество исследований, посвященных применению отдельных групп биостимуляторов и регуляторов роста, сравнительная оценка эффективности препаратов различного механизма действия (элиситорного, ферментативного и наноуглеродного) в производственных условиях степной зоны Северного Казахстана практически отсутствует. Большинство опубликованных работ выполнено в мелкоделяночных опытах или посвящено изучению отдельных физиологических эффектов препаратов, тогда как данные об их сравнительной производственной эффективности, влиянии на структуру урожая и качественные показатели зерна в условиях изменяющегося климата остаются ограниченными.

Научная новизна исследования заключается в том, что впервые в условиях крупномасштабного производственного опыта (strip-trial) степной зоны Костанайской области проведена комплексная сравнительная оценка препаратов, различающихся по механизму физиологического действия (элиситор на основе коллоидного серебра, ферментный биостимулятор и наноуглеродный препарат). В работе впервые для производственных условий региона сопоставлены хозяйственная и биологическая урожайность, элементы структуры урожая, показатели качества зерна, а также выполнен анализ взаимосвязи биометрических показателей растений с формированием урожайности в условиях климатического стресса.

Цель исследования – провести сравнительную оценку отклика яровой мягкой пшеницы сорта Канюк на применение листовых препаратов различного механизма действия и определить их влияние на урожайность, структуру урожая и качество зерна в условиях степной зоны Костанайской области.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи исследования: охарактеризованы агроклиматические условия вегетационного периода 2025 года с использованием данных ERA5-Land; проведена оценка влияния исследуемых препаратов на хозяйственную и биологическую урожайность яровой пшеницы; определены изменения основных элементов структуры урожая и показателей качества зерна; установлена взаимосвязь между морфометрическими показателями растений и биологической урожайностью; определен наиболее перспективный препарат для использования в производственных условиях Северного Казахстана с учетом эффективности и практической применимости.

### **Материалы и методы.**

Исследование выполнено в 2025 году на базе ТОО «Олга Садчиковское» Костанайского района Костанайской области (Республика Казахстан) в условиях производственного опыта (strip-trial). Общая площадь опытного участка составила 794,1 га. Почва опытного участка представлена черноземом южным обычным маломощным слабогумусированным тяжелосуглинистым, сформированным на покровных лессовидных суглинках. Территория относится к степной зоне с резко континентальным климатом, характеризующимся значительной межгодовой изменчивостью температуры и количества атмосферных осадков. Погодные условия вегетационного сезона (май–сентябрь) характеризовались повышенным температурным фоном и неравномерным увлажнением (рисунок 1).

Анализ агроклиматических условий объекта исследования показал, что вегетационный период 2025 года характеризовался сочетанием повышенного температурного режима и неравномерного распределения атмосферных осадков. Несмотря на превышение среднесуточной суммы осадков, в критические фазы развития культуры наблюдался дефицит влаги, подтверждаемый значениями гидротермического коэффициента ниже 0,6. Следовательно, оценка эффективности исследуемых препаратов проводилась в условиях выраженного периодического абиотического стресса, что позволяет объективно оценить их антистрессовый потенциал.

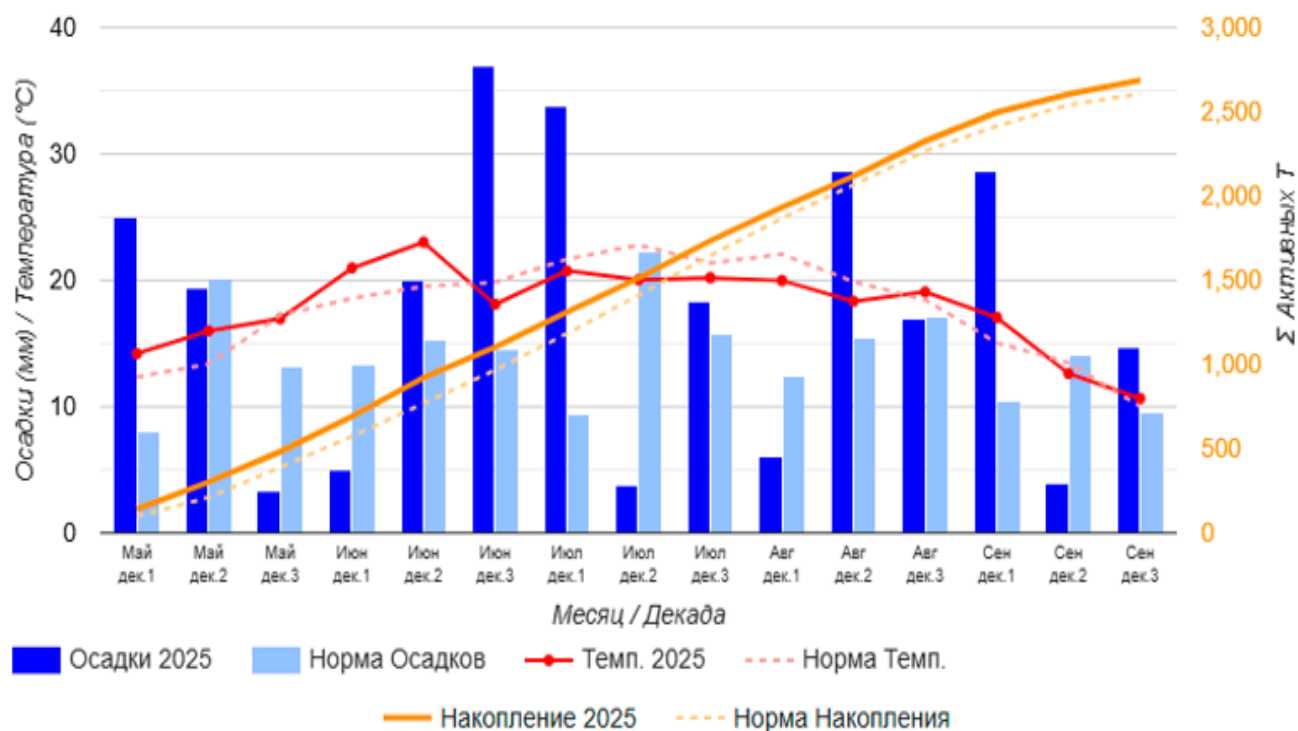


Рис. 1. Осадки, температура воздуха и сумма активных температур с мая по сентябрь 2025 года в сравнении со среднееголетними значениями.

[Fig. 1. Monthly Precipitation, Air Temperature, and Accumulated Growing Degree Days (GDD) from May to September 2025 in Comparison with Long-Term Average Conditions].

Вегетационный период 2025 года характеризовался повышенным температурным фоном и неравномерным распределением осадков. За период активной вегетации выпало 202,1 мм осадков при среднееголетнем значении 160,7 мм. Вместе с тем гидротермический коэффициент по Селянину составил 0,98, а в отдельные декады июня, июля, августа и сентября наблюдался выраженный дефицит влаги ( $ГТК < 0,6$ ), что создавало условия периодического водного стресса для растений (рисунок 2).

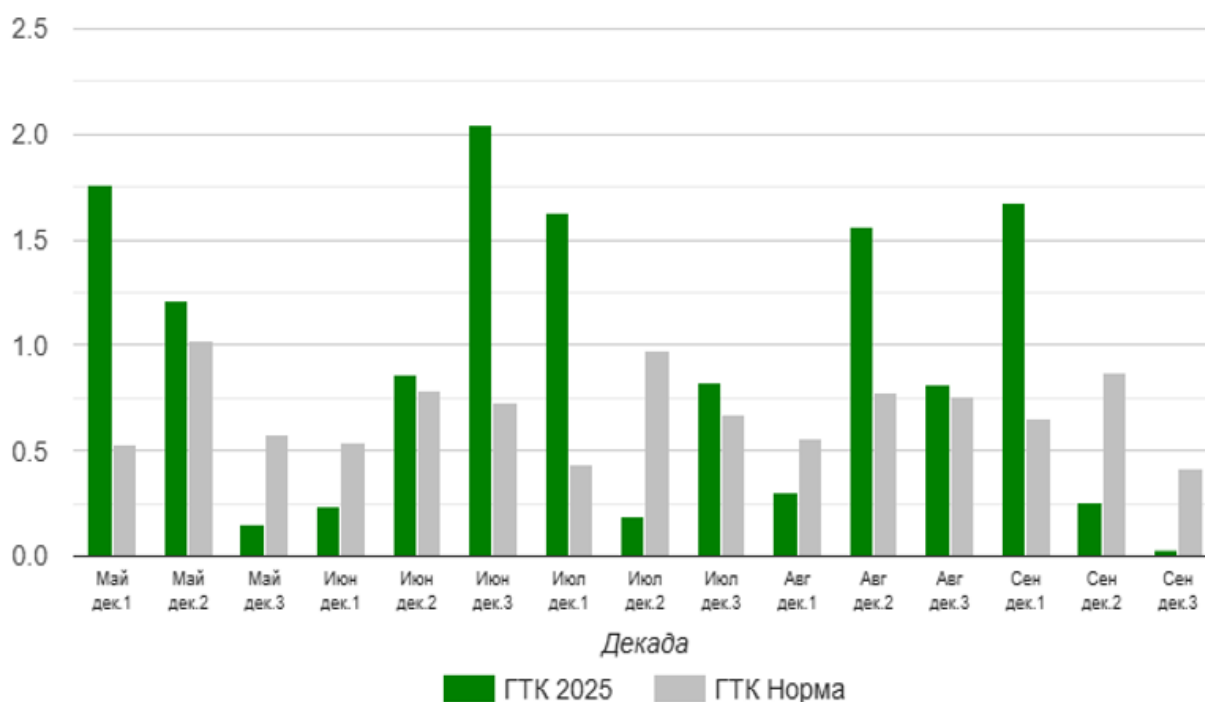


Рис. 2. Декадный гидротермический коэффициент Селянинова с мая по сентябрь 2025 года в сравнении со среднееголетними значениями.

[Fig. 2. Comparison of the Decadal Selyaninov Hydrothermal Coefficient (HTC) from May to September 2025 with Long-Term Average Values].

Объектом исследования являлась яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Канюк первой репродукции. Предшественником служил чистый пар (таблица 1).

Таблица 1. История урожайности на поле опыта

| Год  | Культура                     | Урожайность, ц/га |
|------|------------------------------|-------------------|
| 2018 | Зерносмесь Ячмень+Горох+Овес | 36,00             |
| 2019 | Кукуруза силосная Родник 179 | 10,10             |
| 2020 | Ячмень Арна 3 репродукция    | 9,20              |
| 2021 | Кукуруза зерновая Пивиха     | 23,00             |
| 2022 | Зерносмесь Ячмень+Горох+Овес | 45,00             |
| 2023 | Подсолнечник CL LG5542CL     | 19,50             |
| 2024 | Пар чистый                   | -                 |

Опыт заложен на фоне осенней химической прополки и механической обработки. 16–17 сентября 2024 года была проведена обработка глифосатом, 540 г/л – 2 л/га. Вслед за этим (20–30 сентября) выполнено дискование на глубину 10–12 см для заделки пожнивных остатков и провокации сорняков.

Ранневесеннее закрытие влаги проведено 9–16 апреля (агрегат БЗ-22 в 2 следа). Предпосевная подготовка включала промежуточную механическую обработку (24–25 апреля) и культивацию на глубину 6 см (28 мая), непосредственно перед посевом.

Посев проведен в поздние сроки – со 2 по 7 июня 2025 года. После посева (3–8 июня) выполнено боронование (БЗ-22) для выравнивания фона.

Обработка препаратами согласно схеме опыта была проведена в фазу кущения (5 июля 2025 года) культуры (рисунок 3). Препараты вносились совместно с Эфир Корсо 0,2 л/га, Москит Форте 20 гр/га Лиггера Форте 0,3 л/га и прилипатель ДАШ 0,3 л/га.

Схема опыта включала четыре варианта:

Контроль (фоновая технология хозяйства);

Зеромакс Фос – 0,3 л/га;

Ферментный биостимулятор – 0,25 л/га;

Мегавит (MEGAVit) – 2,0 л/га.

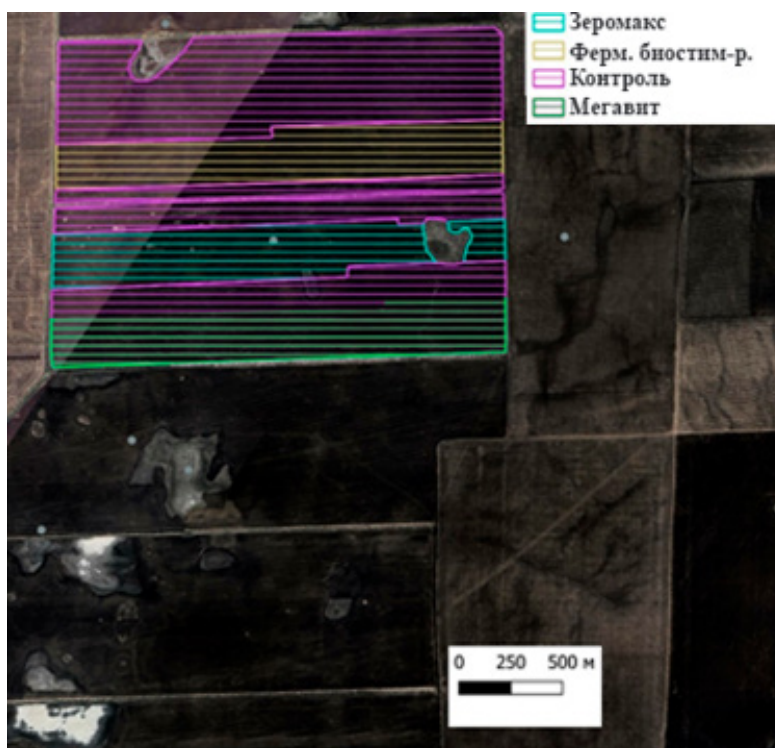


Рис. 3. Схема размещения вариантов на опытном участке

[Fig. 3. Layout of Experimental Treatments in the Field Trial]

Листовые обработки проводили однократно в фазу кущения (5 июля 2025 года) самоходным

опрыскивателем AVAGRO-MK25 при расходе рабочей жидкости 50 л/га. Все препараты вносились совместно с одинаковым комплексом вспомогательных компонентов (Эфир Корсо, Москит Форте, Лиггеро Форте и прилипатель ДАШ), что исключало влияние различий в технологии обработки между вариантами.

Уборка осуществлялась отдельным способом (двухфазная уборка), что актуально при неравномерном созревании и высокой засоренности: свал в валки: 19–21 сентября 2025 года (жатки ЖН-11, Дон Мар); подбор и обмолот: 23–26 сентября 2025 года (комбайны Acros 530, John Deere W550/9670 STS с подборщиками).

Общая продолжительность вегетационного периода (от посева до подбора) составила 109–111 дней.

В опыте использовались препараты с различным механизмом действия на физиологию растений:

Зеромакс Фос (Zeromax Phos). Производитель: ТОО АгроХимПром (Казахстан). Жидкое комплексное удобрение фунгистатическим эффектом. Основным действующим веществом является коллоидное серебро (Ag) – 0,05 % (500 мг/л), стабилизированное полигексаметиленбигуанидином. Также содержит макроэлементы: фосфор ( $P_2O_5$  – 3,7 %), калий ( $K_2O$  – 5,8 %) и микроэлементы-синергисты (Mo – 0,13 %, Se – 0,043 мг/дм<sup>3</sup>). Гипотеза его действия строится на способности наночастиц серебра (AgNPs) вызывать контролируемый окислительный взрыв (генерацию АФК), который воспринимается растением как сигнал атаки патогена, запуская каскад реакций системной приобретенной устойчивости (SAR-эффект). Дополнительное включение фосфора в формуляцию направлено на синергию сигнальных путей, ответственных за развитие корневой системы.

Ферментный препарат (биостимулятор). Комплекс энзимов (амилаза и протеаза), элиситоры, липо- и гликопротеины, полипептиды, олигосахариды, органические кислоты и витамины. По заявлению производителя, препарат содержит ферментный комплекс и биоактивные компоненты, способные опосредованно влиять на питание и устойчивость растений. Препарат позиционируется как средство для повышения устойчивости культуры к биотическим и абиотическим стрессам.

Мегавит (MEGAVit). Производитель: BioInvest Ltd (Казахстан). Комплексное био-минеральное удобрение с наноуглеродом. Препарат содержит комплекс органических кислот (янтарная, щавелевая, лимонная, ортофосфорная), вытяжку из биогумуса и незрелых углей, а также фуллерены (наноуглерод). Обогащен хелатными формами микроэлементов (Mg, Fe, Zn, Cu, Mn). Фуллерены могут выступать в роли нано-транспортеров активных веществ через клеточную мембрану, ускоряя метаболизм. Органические кислоты (особенно янтарная) работают как мощные адаптогены, повышая устойчивость к засухе. Механизм действия наноуглеродных регуляторов связывается с их уникальной электроноакцепторной способностью, позволяющей им действовать как ловушки свободных радикалов в митохондриях и хлоропластах, предотвращая окислительный стресс и оптимизируя энергетический баланс клетки в условиях засухи.

Исследуемые препараты различались по механизму физиологического действия. Зеромакс Фос представляет собой комплексное удобрение с коллоидным серебром, фосфором и калием, обладающее элиситорными и фунгистатическими свойствами. Ферментный препарат содержит комплекс гидролитических ферментов, биоактивных соединений и витаминов, направленных на повышение устойчивости растений к стрессам. «Мегавит» является био-минеральным препаратом, содержащим органические кислоты, фуллерены (наноуглерод) и хелатные формы микроэлементов, предназначенными для стимуляции обменных процессов и повышения устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды.

Агроклиматические условия оценивали по данным глобального реанализа ERA5-Land с использованием платформы Google Earth Engine. Рассчитывали сумму атмосферных осадков, сумму активных температур ( $>10$  °C) и гидротермический коэффициент Селянинова. Для оценки климатических особенностей сезона показатели 2025 года сравнивали со среднегодовыми значениями за 2015–2024 годы.

Хозяйственную урожайность определяли методом сплошного поделяночного учета с приведением массы зерна к стандартной влажности 14 %. Для оценки структуры урожая использовали метод пробных снопов с определением густоты стояния растений, продуктивной кустистости, высоты растений, длины колоса и биологической урожайности. Качество зерна оценивали по натуре, числу падения

и массе 1000 зерен.

Статистическую обработку выполняли с использованием методов описательной статистики. Для количественных признаков рассчитывали медианы, квартильный размах, диапазон изменчивости и относительные отклонения от контрольного варианта. Корреляционную связь между высотой растений и биологической урожайностью определяли по коэффициенту корреляции Пирсона с расчетом уровня статистической значимости ( $p < 0,05$ ). Для оценки зависимости между признаками использовали линейный регрессионный анализ с определением коэффициента детерминации ( $R^2$ ).

Поскольку исследование выполнено в формате крупномасштабного производственного strip-trial без рандомизации вариантов и деляночной репликации, результаты рассматриваются как производственная оценка эффективности препаратов. Полученные различия интерпретируются как индикативные и требуют подтверждения в последующих многолетних рандомизированных опытах с достаточным количеством повторностей.

Обработка данных и расчет агроклиматических показателей проводились с использованием облачной геоинформационной платформы Google Earth Engine (GEE). В качестве исходных параметров использовались суточные агрегированные данные (коллекция ECMWF/ERA5\_LAND/DAILY\_AGGR) по температуре воздуха на высоте 2 м и суточным суммам осадков [Muñoz-Sabater, 2021: 4349–4383].

Анализ проводился за период май–сентябрь. Для оценки отклонений текущего года от климатической нормы использовался сравнительный анализ со среднемноголетними значениями за последнее десятилетие (2015–2024 гг.). Основными расчетными показателями являлись: сумма осадков, сумма активных температур (выше  $+10^{\circ}\text{C}$ ) и гидротермический коэффициент (ГТК) по Г.Т. Селянинову.

Учет урожайности проводился двумя методами:

Сплошной поделяночный учет (бункерный вес, приведенный к параметрам зачетного веса со стандартной влажностью 14 %) – для вариантов 1, 2, 3.

Метод пробных снопов с последующим структурным анализом – для варианта 4 и верификации данных вариантов 1,2,3. Контрольный вариант был намеренно разделён на два самостоятельных подварианта для учёта внутриполевой вариабельности показателей. Для каждого варианта сделали по два отбора с рамки 0,25 м<sup>2</sup>. Для обеспечения сходства точек отбора снопов по почвенному потенциалу координаты точек рассчитали по патенту № 9255 (Сидорик и др., 2024) с учетом предварительно выделенных зон плодородия по авторскому SFI-индексу, разработанному Сидориком А.И. в 2025 году и использованному для стратификации участка по спутниковым данным.

В сноповых образцах определяли густоту стояния, число колосьев и продуктивную кустистость, затем взвешивали обмолоченное зерно, измеряли его влажность и пересчитывали в ц/га при стандартной влажности 14 %. От каждого снопа дополнительно отобрали по 10 типичных растений и измерили их биометрические показатели (высоту растения и длину колоса).

Формирование проб на качество зерна – из лючков для отбора проб зерна на комбайнах отбирались пробы во время движения комбайнов по полю. С каждого варианта было отобрано по 5 точечных проб суммарным объемом не менее 2 литров.

Статистическая обработка представлена дескриптивным анализом (средние/медианы, диапазоны) и корреляционным анализом по Пирсону на объединённых данных (без разделения по вариантам).

Испытание выполнено в формате производственного сравнительного опыта на крупных участках (strip-trial) без рандомизации вариантов и без репликации на уровне делянки. В связи с этим данные сплошного учёта урожайности трактуются как индикативные различия, отражающие практический отклик в конкретных условиях сезона, но не как строго доказанный причинно-следственный эффект препарата. Для показателей хозяйственной урожайности, полученных при сплошном поделяночном учёте, результаты представлены как фактические значения по вариантам и их отклонения от контрольного варианта. Для снопового анализа ( $n = 2$  на вариант) использовали медианы и квартильный размах как робастные описательные характеристики. Корреляционный анализ между высотой растений и биологической урожайностью выполняли на объединённой выборке сноповых образцов как исследовательский приём для выявления общей тенденции, без интерпретации этой связи как доказательства эффекта препаратов. Учитывая отсутствие рандомизации и деляночной репликации, полученные различия трактовали как индикативные и требующие подтверждения в повторных опытах.

### **Результаты и обсуждение.**

Полученные результаты свидетельствуют, что эффективность листовых обработок определяет

ся не только наличием физиологически активных компонентов, но и механизмом их взаимодействия с растением в условиях водного дефицита (таблица 2). В ходе полевых опытов были проанализированы показатели урожайности и качества зерна в контрольном варианте и при применении биопрепаратов Зеромакс Фос (0,3 л/га) и ферментный биостимулятор (0,25 л/га).

Таблица 2. Показатели урожайности

| Вариант опыта                       | Намолот, т | S деланки, га | Сорная примесь, % | Зерновая примесь, % | Влажность зерна, % | Урожайность при ст. влажности, ц/га | Прибавка, ц/га |
|-------------------------------------|------------|---------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------------------------|----------------|
| контроль                            | 773,76     | 225,36        | 0,6               | 2,1                 | 15,7               | 33,7                                | —              |
| Зеромакс Фос, 0,3 л/га              | 175,28     | 50            | 0,4               | 4,8                 | 13,2               | 35,4                                | 1,7            |
| Ферментный биостимулятор, 0,25 л/га | 169,68     | 50            | 1,1               | 1,4                 | 16,4               | 33,0                                | —              |

Наиболее выраженный производственный эффект был получен при применении препарата «Зеромакс Фос», обеспечившего увеличение хозяйственной урожайности на 5,0 % и повышение натуры зерна на 34 г/л. Полученные данные согласуются с современными представлениями о роли элиситоров в индуцировании системной устойчивости растений. По данным Walters и др., применение элиситорных соединений активирует сигнальные пути системной приобретенной устойчивости (SAR), что позволяет растениям быстрее адаптироваться к воздействию абиотических стрессов. Аналогичные выводы представлены в работе Ding et al., где обработка растений наночастицами серебра способствовала усилению активности антиоксидантной системы и формированию физиологической «стрессовой памяти», обеспечивающей более эффективное использование влаги в условиях засухи.

По данным сплошного учёта урожайность в варианте с применением препарата «Зеромакс Фос» составила 35,4 ц/га, что на 1,7 ц/га выше контроля (33,7 ц/га). В варианте ферментный биостимулятор урожайность не превышала контроль и составила 33,0 ц/га. Хозяйственная урожайность варианта «Мегавит» по техническим причинам не определялась, поэтому его сопоставление с другими вариантами по данному показателю не проводилось.

По результатам проведённых опытов установлено различие в основных показателях качества зерна (натура, число падения, масса 1000 зерен) между контрольным вариантом и вариантами с применением биопрепаратов (таблица 3).

Таблица 3. Влияние препаратов на показатели качества зерна

| Вариант опыта                       | Натура, г/л | ЧП, сек | Масса 1000 зерен, г |
|-------------------------------------|-------------|---------|---------------------|
| контроль                            | 688         | 393     | 38,59               |
| Зеромакс Фос, 0,3 л/га              | 722         | 378     | 36,88               |
| Ферментный биостимулятор, 0,25 л/га | 679         | 386     | 36,74               |
| Мегавит 2 л/га                      | 718         | 390     | 40,70               |

Изменения элементов структуры урожая свидетельствуют, что исследуемые препараты влияли на различные физиологические процессы растений. Если «Зеромакс Фос» преимущественно обеспечивал увеличение хозяйственной урожайности, то «Мегавит» в большей степени стимулировал формирование биомассы, продуктивной кустистости и массы 1000 зерен. Это подтверждает, что различные классы биостимуляторов реализуют эффект через неодинаковые механизмы регуляции роста и формирования урожая.

Применение препарата «Зеромакс Фос» (0,3 л/га) было ассоциировано с наиболее высокими показателями натуры – 722 г/л, что на 34 г/л выше контрольного значения. При этом число падения снизилось до 378 с, а масса 1000 зерен составила 36,88 г, то есть оказалась несколько ниже по сравнению с контролем.

Повышение натуры зерна при использовании препарата «Зеромакс Фос» может быть связано с пролонгацией функционирования фотосинтетического аппарата и более эффективным наливанием зерна. По данным Khina и др., применение препаратов на основе серебра способствует замедлению процес-

сов старения листьев вследствие подавления этиленового сигнального пути, что обеспечивает сохранение фотосинтетической активности в период формирования урожая. В условиях вегетационного сезона 2025 года, характеризовавшегося периодическим дефицитом влаги, данный механизм, вероятно, сыграл важную роль в повышении выполненности зерна.

В варианте с ферментным биостимулятором (0,25 л/га) отмечена натура зерна на уровне 679 г/л, что ниже контрольного значения. Число падения составило 386 с, а масса 1000 зерен – 36,74 г, то есть также несколько ниже значений контрольного варианта. Ферментный биостимулятор не обеспечил увеличения хозяйственной урожайности, несмотря на более высокую густоту стояния растений. Полученные результаты позволяют предположить, что в условиях недостаточного увлажнения физиологический эффект ферментных препаратов оказался ограниченным. Согласно Galeev и Isaichev и др., эффективность ферментных биостимуляторов существенно возрастает при благоприятном водном режиме, когда активизируются процессы минерального питания и синтеза белковых соединений. В рассматриваемом исследовании лимитирующим фактором, вероятно, являлся периодический водный стресс, что не позволило реализовать потенциальные преимущества данного препарата.

Особый интерес представляет реакция варианта с препаратом Мегавит, который продемонстрировал максимальные значения биологической урожайности, продуктивной кустистости, массы 1000 зерен и высоты растений. Масса 1000 зерен пшеницы при использовании препарата «Мегавит» в дозировке 2 л/га была выше, чем на контрольном участке на 2,11 грамма (40,7 г.). Натура была выше контроля на 30 грамм (718 г.), число падения было на уровне контроля (390 секунд). Несмотря на отсутствие данных хозяйственной урожайности, полученные результаты согласуются с исследованиями Zaytseva и Neumann, показавшими способность углеродных наноматериалов оптимизировать энергетический обмен клеток и снижать последствия окислительного стресса. Сходные выводы представлены Tripathi и др., которые отмечают положительное влияние наноматериалов на фотосинтетическую активность и транспорт ассимилятов при умеренных дозах их применения. Следовательно, увеличение биологической продуктивности растений в варианте «Мегавит» может быть связано с более эффективным использованием энергетических ресурсов растений в стрессовых условиях.

Для оценки биологического потенциала был проведен анализ элементов структуры урожая по вариантам опыта (таблица 4).

Таблица 4. Анализ элементов структуры урожая мягкой пшеницы по вариантам опыта

| вариант опыта            | густота стояния, шт/м <sup>2</sup> |                                 |       | Продуктивная кустистость, колосьев/раст. |                                 |       | высота растений, см |                                 |       | Средняя длина колоса, см |                                 |      | биологическая урожайность, ц/га |                                 |       |
|--------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-------|------------------------------------------|---------------------------------|-------|---------------------|---------------------------------|-------|--------------------------|---------------------------------|------|---------------------------------|---------------------------------|-------|
|                          | Me                                 | Q <sub>1</sub> – Q <sub>3</sub> | ± %*  | Me                                       | Q <sub>1</sub> – Q <sub>3</sub> | ± %*  | Me                  | Q <sub>1</sub> – Q <sub>3</sub> | ± %*  | Me                       | Q <sub>1</sub> – Q <sub>3</sub> | ± %* | Me                              | Q <sub>1</sub> – Q <sub>3</sub> | ± %*  |
| Зеромакс Фос             | 226                                | 205 – 247                       | +21,5 | 1,90                                     | 1,82 – 1,97                     | +0,5  | 72,8                | 72,0 – 73,5                     | +9,3  | 6,61                     | 6,59 – 6,62                     | -1,4 | 52,23                           | 50,29 – 54,17                   | +22,8 |
| Контроль 1               | 178                                | 171 – 185                       | -4,3  | 1,84                                     | 1,74 – 1,95                     | -2,6  | 66,2                | 65,5 – 66,9                     | -0,6  | 6,54                     | 6,40 – 6,69                     | -2,5 | 41,18                           | 38,06 – 44,30                   | -3,2  |
| Контроль 2               | 194                                | 193 – 195                       | +4,3  | 1,94                                     | 1,90 – 1,98                     | +2,6  | 67,0                | 66,5 – 67,6                     | +0,6  | 6,87                     | 6,67 – 7,07                     | +2,5 | 43,91                           | 43,58 – 44,23                   | +3,2  |
| Мегавит                  | 224                                | 216 – 232                       | +20,4 | 2,24                                     | 2,17 – 2,30                     | +18,5 | 73,9                | 73,6 – 74,2                     | +11,0 | 6,58                     | 6,39 – 6,76                     | -1,9 | 61,07                           | 60,48 – 61,65                   | +43,5 |
| Ферментный биостимулятор | 284                                | 254 – 314                       | +52,7 | 1,64                                     | 1,56 – 1,72                     | -13,2 | 68,2                | 68,1 – 68,3                     | +2,4  | 6,91                     | 6,84 – 6,97                     | +3,1 | 47,67                           | 47,29 – 48,05                   | +12,0 |

\*отклонение в % рассчитано относительно усредненного контрольного варианта

По данным таблицы 4, по абсолютным значениям густота стояния варьировала между вариантами, поэтому интерпретация последующих различий требует осторожности.

Вместе с тем отмечены определенные тенденции. Наиболее высокая биологическая урожайность была получена в варианте с препаратом «Мегавит» – 61,07 ц/га, что на 43,5 % выше усредненного контрольного варианта. Данный вариант также характеризовался максимальными значениями продуктивной кустистости (2,24 колоса/раст.) и высоты растений (73,9 см), тогда как густота стояния составила 224 шт/м<sup>2</sup>.

Вариант «Зеромакс Фос» также превышал усредненный контроль по биологической урожайности, достигая 52,23 ц/га (+22,8 %), при густоте стояния 226 шт/м<sup>2</sup> и продуктивной кустистости 1,90 колоса/раст. Варианты «Зеромакс Фос», также как и «Мегавит» демонстрировал несколько большие медианные значения высоты растений по сравнению с контролями, тогда как вариант с применением ферментного биостимулятора находился на уровне контроля.

В варианте с ферментным биостимулятором отмечена наибольшая густота стояния – 284 шт/м<sup>2</sup> (+52,7 %), продуктивная кустистость при этом была минимальной среди всех вариантов и составила 1,64 колоса/раст. (-13,2 %). Учитывая, что рекомендуемая густота стояния в условиях Северного Казахстана варьирует в пределах 250–450 растений на квадратный метр, наблюдаемое отличие в густоте стояния на участках с ферментным биостимулятором следует считать благоприятным фактором для увеличения урожайности на этом варианте, однако это не сопровождалось повышением хозяйственной урожайности по данным сплошного учёта, что указывает на отсутствие однозначной связи между этими показателями в условиях данного сезона. Биологическая урожайность в данном варианте составила 47,67 ц/га (+12,0 % к усредненному контролю).

Полученные результаты также соответствуют современным представлениям о механизмах действия биостимуляторов, изложенным в обзорах du Jardin, Calvo и др., Yakhin и др., и Rouphael и Colla. Авторы отмечают, что основной эффект современных биостимуляторов проявляется не в прямом обеспечении растений элементами питания, а в регуляции физиологических процессов, повышении эффективности использования влаги, оптимизации фотосинтеза и усилении антиоксидантной защиты. Именно поэтому максимальный эффект подобных препаратов проявляется в годы с выраженными абиотическими стрессами, что полностью соответствует условиям вегетационного периода 2025 года.

Данные по длине колоса были наиболее консервативны (диапазон 6.5–6.9 см). Статистически значимого влияния обработок на длину колоса не выявлено, что характерно для подкормок во второй половине фазы кущения, когда зачаточный колос уже сформирован (рисунок 4).

Таким образом, в условиях опыта более высокая биологическая урожайность была сопряжена не с максимальной густотой стояния, а с лучшей реализацией продуктивной кустистости и, вероятно, более эффективным формированием продуктивного стеблестоя.

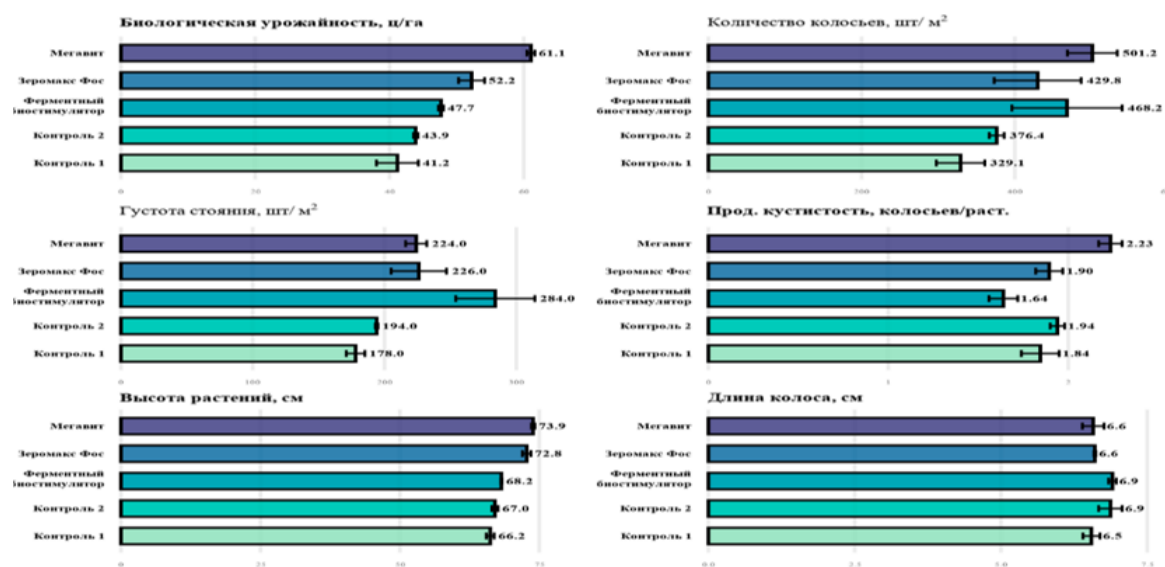


Рис. 4. Анализ элементов структуры урожая и биологической урожайности яровой мягкой пшеницы по вариантам опыта.

[Fig. 4. Analysis of Yield Structure Components and Biological Yield of Spring Wheat Across Experimental Treatments].

Корреляционный анализ (таблица 5), выполненный на объединённой выборке всех сноповых

образцов без разделения по вариантам опыта, показал прямую связь весьма высокой тесноты между высотой растений и биологической урожайностью ( $r = 0,929$ ;  $p < 0,001$ ). Это означает, что в рамках совокупной вариации наблюдений более высокие растения, как правило, формировали более высокую биологическую урожайность.

Таблица 5. Результаты корреляционного анализа взаимосвязи высоты растений и биологической урожайности

| Характеристика корреляционной связи высоты растений и биологической урожайности |                                |             |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------|
| $r_{xy}$                                                                        | Теснота связи по шкале Чеддока | $p$         |
| 0,929                                                                           | Весьма высокая                 | $< 0,001^*$ |
|                                                                                 |                                |             |

\* – различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ )

Выявленная сильная положительная корреляция между высотой растений и биологической урожайностью свидетельствует о тесной взаимосвязи процессов вегетативного роста и накопления сухой массы в условиях ограниченного увлажнения. Высокое значение коэффициента корреляции подтверждает возможность использования высоты растений как дополнительного диагностического показателя потенциальной продуктивности посевов. Вместе с тем выявленная зависимость отражает статистическую связь между признаками и не может рассматриваться как доказательство прямой причинно-следственной зависимости.

Наблюдаемая зависимость биологической урожайности от высоты растений (рисунок 5) описывается уравнением парной линейной регрессии:

$$Y_{\text{биологическая урожайность}} = 1,948 \times X_{\text{высота растений}} - 87,066$$

с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,863$ , что указывает на объяснение 86,3 % вариации биологической урожайности моделью на уровне объединённых данных.

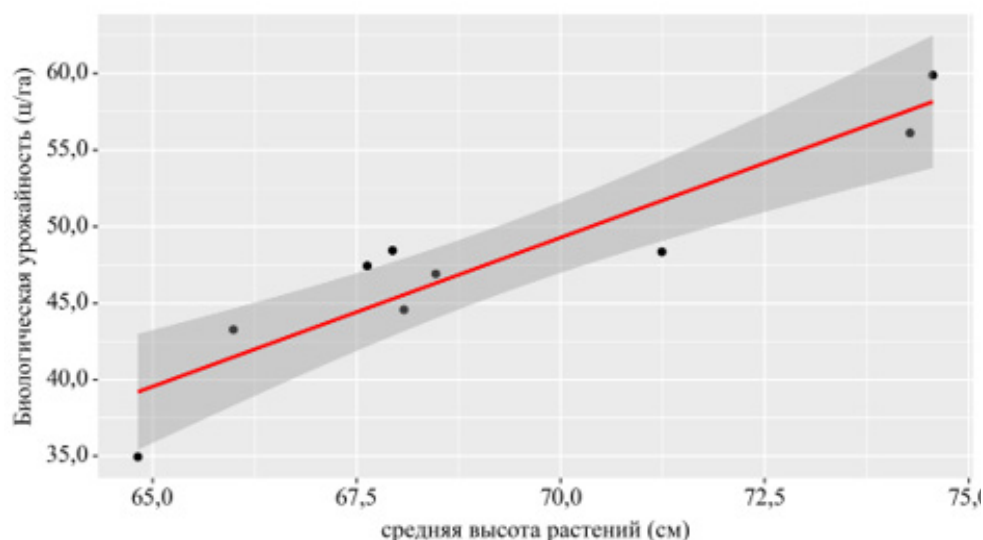


Рис. 5. График регрессионной функции, характеризующий зависимость биологической урожайности от высоты растений.

[Fig. 5. Regression Function Illustrating the Relationship Between Biological Yield and Plant Height].

В рамках исследования наблюдаемые различия по урожайности ассоциированы с применением «Зеромакс Фос» (+1,7 ц/га), что возможно связано с активацией SAR-эффекта и P-K питанием. Урожайность варианта с ферментным биостимулятором сопоставима с контролем, возможно из-за низкой влажности воздуха, лимитирующей энзимы. Препарат «Мегавит» характеризуется тенденцией к

повышению биологической урожайности, но без репликации данные выводы имеют ограниченную применимость.

Корреляционная связь между высотой растений и урожайностью яровой пшеницы отражает общую тенденцию из объединенных данных, однако не является доказательством влияния препаратов и не учитывает внутривариантную неоднородность. В более засушливые сезоны ожидается более выраженный отклик на стресс-ориентированные препараты, что необходимо проверить в повторных исследованиях.

Наибольшая агрономическая значимость характеризуется прибавкой в 1,7 ц/га на варианте Зеромакс Фос при урожайности 35 ц/га, что выше на 5 % урожайности на контрольном варианте. Помимо этого, увеличение natyры на 34 г/л может перевести зерно в более высокий класс качества, что значительно повышает цену реализации продукции. Экономический эффект от улучшения качества зерна может превосходить эффект от прибавки валового сбора.

Эффективность препарата «Зеромакс Фос» обусловлена совокупностью физиологических механизмов. Во-первых, наночастицы серебра индуцируют кратковременную генерацию активных форм кислорода ( $H_2O_2$ ,  $O_2^-$ ), которая воспринимается растением как сигнал патогенной атаки. Это запускает каскад системы приобретённой устойчивости (SAR), сопровождающийся активацией защитных генов и антиоксидантных ферментов. В результате формируется эффект «priming» – повышенная готовность растения к стрессу [Ding, 2025].

Во-вторых, ионы  $Ag^+$  блокируют этиленовые рецепторы, подавляя стресс-индуцированный этиленовый сигнал. Это приводит к эффекту *stay-green* – замедлению старения листьев и пролонгации фотосинтетической активности, особенно в условиях засухи. Продление функционирования флагового листа обеспечивает лучший налив зерна, что отражается в увеличении его natyры [Khina, 2025].

В-третьих, коллоидное серебро обладает выраженной антибактериальной активностью, подавляя развитие фитопатогенов за счёт нарушения мембран и дыхательных процессов [Dakal, 2016]. В условиях повышенной влажности это способствует снижению поражённости колоса и сохранению качества зерна.

По данным снопового анализа вариант «Мегавит» характеризовался более высокими значениями биологической урожайности, массы 1000 зерен и высоты растений, что может указывать на потенциальный отклик по биомассе и наливу зерна. Однако отсутствие данных сплошного учёта урожайности по этому варианту не позволяет сопоставлять его с остальными вариантами по хозяйственной эффективности в полной мере.

Полученные результаты в целом согласуются с современными представлениями о механизмах действия биостимуляторов и регуляторов роста растений. Согласно данным Roupheal и Colla, эффективность листовых обработок в условиях дефицита влаги определяется не только обеспеченностью растений элементами питания, но и способностью препаратов активировать физиологические механизмы адаптации к стрессу. В проведенном исследовании наиболее выраженный производственный эффект был отмечен при использовании препарата Зеромакс Фос, что может свидетельствовать о важной роли индуцированной устойчивости растений в условиях периодически возникающего водного дефицита.

Особого внимания заслуживает тот факт, что повышение урожайности сопровождалось улучшением natyры зерна. Подобная закономерность ранее отмечалась рядом исследователей, изучавших влияние антистрессовых препаратов на зерновые культуры. Улучшение выполненности зерна обычно связывают с более продолжительным сохранением фотосинтетической активности листового аппарата и эффективным перераспределением ассимилятов в период налива зерна. В условиях 2025 года, характеризовавшихся чередованием периодов достаточного увлажнения и кратковременных засух, данный механизм мог иметь решающее значение для формирования урожая.

Результаты варианта с препаратом Мегавит позволяют предположить, что наноуглеродные соединения оказывают положительное влияние на морфометрические показатели растений и формирование биомассы. Увеличение высоты растений, продуктивной кустистости и массы 1000 зерен соответствует данным Zaytseva и Neumann, согласно которым углеродные наноматериалы способны оптимизировать энергетический обмен клеток и снижать последствия окислительного стресса. Вместе с тем отсутствие данных сплошного учета урожайности не позволяет однозначно оценить трансформацию биологического потенциала в хозяйственную урожайность, что требует дополнительной проверки

в последующих исследованиях.

Следует отметить, что различия между вариантами опыта проявлялись преимущественно через показатели структуры урожая, а не через густоту стояния растений. Это подтверждает известное положение о том, что в засушливых условиях Северного Казахстана решающим фактором формирования урожая является не количество растений на единице площади, а степень реализации их продукционного потенциала за счет формирования продуктивных побегов, эффективного фотосинтеза и полноценного налива зерна.

Исследование выполнено в формате производственного сравнения на крупных участках, что ограничивает внутреннюю валидность результатов из-за возможной внутривыделочной неоднородности и отсутствия рандомизации/репликации на уровне делянок. Сноповой учёт имел малое число биологических повторностей ( $n=2$  на вариант), что снижает статистическую мощность и переводит различия по структуре урожая в разряд тенденций. Агроклиматические показатели рассчитаны по данным ERA5-Land ( $0,1^\circ$ ), которые могут сглаживать локальные осадки и экстремальные события. В совокупности это означает, что полученные прибавки следует рассматривать как индикативные и требующие подтверждения в повторном опыте (RCBD/strip-trial с блокированием и не менее 4 повторностей).

Корреляционный анализ связи высоты растений и биологической урожайности выполнен по объединённой выборке и отражает общую тенденцию, но не позволяет однозначно судить о стабильности связи внутри каждого варианта и направления, для этого требуется расширение выборки и анализ с учётом факторов вариант и повторность.

В отличие от большинства опубликованных исследований, выполненных в мелкоделяночных опытах, настоящее исследование проведено в условиях крупномасштабного производственного strip-trial на площади более 790 га. Это позволяет оценить эффективность препаратов в реальных производственных условиях, однако одновременно увеличивает влияние пространственной неоднородности поля. Поэтому выявленные различия следует рассматривать как производственно подтвержденные тенденции, требующие дальнейшей проверки в рандомизированных полевых опытах с достаточным количеством повторностей. Вместе с тем совпадение полученных результатов с современными отечественными и зарубежными исследованиями свидетельствует о высокой биологической обоснованности выявленных закономерностей и подтверждает перспективность применения современных антистрессовых биостимуляторов при возделывании яровой пшеницы в условиях Северного Казахстана.

Совокупность полученных результатов показывает, что эффективность исследуемых препаратов определяется их физиологическим механизмом действия и существенно зависит от агроклиматических условий вегетационного периода. В условиях 2025 года наиболее стабильный производственный эффект обеспечил «Зеромакс Фос», тогда как «Мегавит» проявил высокий потенциал формирования биологической продуктивности растений. Полученные результаты в целом согласуются с современными отечественными и зарубежными исследованиями, посвященными применению биостимуляторов в условиях абиотического стресса, что подтверждает достоверность выявленных закономерностей и их практическую значимость для технологий возделывания яровой пшеницы в Северном Казахстане.

### **Заключение.**

Проведенные исследования позволили выполнить сравнительную оценку отклика яровой мягкой пшеницы сорта Канюк на листовые обработки препаратами различной физиологической направленности в условиях степной зоны Костанайской области. Вегетационный сезон 2025 года характеризовался повышенным температурным фоном, неравномерным распределением осадков и периодически возникающим дефицитом влаги, что создавало предпосылки для проявления стрессовых факторов и позволило оценить эффективность исследуемых препаратов в условиях, приближенных к производственным.

Научная новизна выполненного исследования состоит в том, что впервые для условий степной зоны Северного Казахстана в крупномасштабном производственном опыте проведена сравнительная оценка препаратов различного физиологического механизма действия. Получены новые данные об их влиянии на хозяйственную и биологическую урожайность, структуру урожая и качественные показатели зерна, а также выявлена тесная связь между высотой растений и биологической урожайностью в условиях водного дефицита. Полученные результаты расширяют представления о применении современных биостимуляторов в адаптивных технологиях возделывания яровой пшеницы и могут служить научной основой для дальнейших многолетних исследований.

По данным сплошного поделяночного учета наиболее выраженный положительный отклик был получен при применении препарата «Зеромакс Фос» в норме 0,3 л/га. Урожайность составила 35,4 ц/га, что на 1,7 ц/га или 5,0 % превышало контрольный вариант. Дополнительно отмечено улучшение одного из важнейших показателей товарного качества зерна – натуры, которая увеличилась на 34 г/л по сравнению с контролем. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования данного препарата в технологиях возделывания яровой пшеницы, особенно в условиях нестабильного увлажнения и повышенной вероятности абиотических стрессов. Вероятно, выявленный эффект обусловлен комплексным действием препарата, включающим элементы фосфорно-калийного питания и элиситорный эффект коллоидного серебра, способствующий активации механизмов системной устойчивости растений.

Вариант с использованием ферментного биостимулятора не обеспечил достоверно выраженного преимущества по хозяйственной урожайности относительно контрольного варианта. Несмотря на формирование наиболее высокой густоты стояния растений, увеличение данного показателя не сопровождалось ростом продуктивной кустистости и итоговой урожайности. Это свидетельствует о том, что в условиях рассматриваемого сезона определяющее значение имели не количественные параметры стеблестоя, а эффективность формирования продуктивных побегов и процессов налива зерна. Вероятно, эффективность ферментных препаратов в значительной степени зависит от гидротермических условий и может быть более выраженной в годы с иным распределением влаги и температурного режима.

По данным проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

Установлено, что агроклиматические условия вегетационного периода 2025 года характеризовались повышенным температурным режимом и периодическим дефицитом влаги в критические фазы развития яровой пшеницы, что позволило объективно оценить эффективность листовых препаратов в условиях абиотического стресса.

Проведенная сравнительная оценка показала различную эффективность исследуемых препаратов. Наиболее высокий хозяйственный эффект обеспечил препарат «Зеромакс Фос», повысивший урожайность до 35,4 ц/га, что на 1,7 ц/га (5,0 %) выше контрольного варианта, а также увеличивший массу зерна на 34 г/л, что свидетельствует об улучшении товарных качеств продукции.

Препарат «Мегавит» обеспечил максимальные значения биологической урожайности (61,07 ц/га), продуктивной кустистости, высоты растений и массы 1000 зерен, что указывает на его высокую эффективность в стимулировании роста растений и формирования элементов структуры урожая. При этом ферментный биостимулятор не обеспечил существенного увеличения хозяйственной урожайности по сравнению с контролем.

Установлена сильная положительная корреляционная связь между высотой растений и биологической урожайностью ( $r = 0,929$ ;  $p < 0,001$ ), подтверждающая тесную взаимосвязь процессов вегетативного роста и накопления биомассы в условиях недостаточного увлажнения.

Полученные результаты свидетельствуют, что применение современных листовых биостимуляторов является эффективным элементом адаптации технологий возделывания яровой пшеницы к условиям изменяющегося климата Северного Казахстана. Для производственного применения в аналогичных почвенно-климатических условиях наиболее перспективным препаратом по совокупности хозяйственно ценных признаков является «Зеромакс Фос», тогда как потенциал препарата «Мегавит» требует дальнейшей оценки в многолетних рандомизированных полевых опытах с достаточным количеством повторностей.

#### REFERENCES

- Albert M.A., Galeev R.R. & Kovalev E.A. (2022). Innovatsionnye podkhody k primeneniyu elementov tochnogo zemledeliya v lesostepi Zapadnoi Sibiri [Innovative approaches to the application of precision agriculture elements in the forest-steppe of Western Siberia] // Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost' (Innovations and Food Security). 1(35). 33–40. <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2022-35-1-33-40>
- Calvo P., Nelson L. & Kloepper J.W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*. 383. 3–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
- Dakal T.C., Kumar A., Majumdar R.S. & Yadav V. (2016). Mechanistic basis of antimicrobial actions of silver nanoparticles. *Frontiers in Microbiology*. 7. Article 1831. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01831>
- Ding, S., Zheng, L., Tao, T., Li, Q., Cai, J., Zhou, Q., Zhong, Y., Wang, X., & Jiang, D. (2025). Silver nanoparticles priming for drought tolerance in wheat: Insights from antioxidant system activation and stress memory // *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 12, Article 57. <https://doi.org/10.1186/s40538-025-00778-y>
- Du Jardin P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*. 196. 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>

- Eleshev R.E. (2015). Sostoyaniye plodorodiya pochv Kazakhstana i strategiya primeneniya mineral'nykh udobrenii [Soil fertility status in Kazakhstan and the strategy for mineral fertilizer application]. *Pochvovedenie i Agrokhimiya*. 3. 138–148.
- Galeev R.R. (2014). *Regulatory rosta v rastenievodstve Sibiri* [Growth regulators in Siberian crop production]. — Novosibirsk.
- Isaichev V.A., Andreev N.N., Provalova E.V. & Polovinkin V.G. (2023). Formirovaniye produktivnosti zernovykh kul'tur pri primeneni mineral'nykh udobrenii i regulyatorov rosta v usloviyakh Srednego Povolzh'ya [Formation of cereal crop productivity under the application of mineral fertilizers and growth regulators in the Middle Volga region]. Ul'yanovsk State Agrarian University Press.
- Kabanov P.I. (2016). *Organomineral'nye udobreniya pri intensifikatsii zemledeliya* [Organo-mineral fertilizers in agricultural intensification]. Ritm.
- Kenenbaev S.B., Ramazanova S.B., Gusev V.N. & Esenbaeva G.L. (2023). Primeneniye mineral'nykh udobrenii v sel'skom khozyaistve yuzhnykh regionov Kazakhstana [Application of mineral fertilizers in the agriculture of southern Kazakhstan] // *Izdenister, Natizheler – Issledovaniya, Rezul'taty*. 2(98). 111–121. <https://doi.org/10.37884/2-2023/11>
- Khina A.G., Biktasheva L.R., Gordeev A.S., Mikhaylov D.M., Mukhina M.T., Lisichkin G.V. & Krutyakov Y.A. (2025). Effect of silver nanoparticles on growth of wheat: Is it stage-specific or not? *Agronomy*. 15(11). Article 2540. <https://doi.org/10.3390/agronomy15112540>
- Muñoz-Sabater, J., Dutra E., Agustí-Panareda A., Albergel C., Arduini G., Balsamo G., Boussetta S., Choulga M., Harrigan S., Hersbach H., Martens B., Miralles D.G., Piles M., Rodríguez-Fernández N.J., Zsoter E., Buontempo C. & Thépaut J.N. (2021). ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data*. 13. 4349–4383. <https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021>
- Rouphael Y. & Colla G. (2020). Toward a sustainable agriculture through plant biostimulants. *Agronomy*. 10(10). Article 1461. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101461>
- Tripathi D.K., Singh S., Singh S., Pandey R., Singh V.P., Sharma N.C., Prasad S.M., Dubey N.K. & Chauhan D.K. (2017). An overview on manufactured nanoparticles in plants: Uptake, translocation, accumulation and phytotoxicity. *Plant Physiology and Biochemistry*. 110. 2–12. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.07.030>
- Walters, D.R., Ratsep, J. & Havis, N.D. (2013). Controlling crop diseases using induced resistance: Challenges for the future // *Journal of Experimental Botany*. 64(5). 1263–1280. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert026>
- Yakhin, O.I., Lubyantsev, A.A., Yakhin, I.A. & Brown, P.H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. *Frontiers in Plant Science*. 7. Article 2049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>
- Zaytseva, O. & Neumann G. (2016). Carbon nanomaterials: Production, impact on plant development, agricultural and environmental applications // *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 3. Article 17. <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0070-8>

**Сидорик А.И.** — концептуализация, методология, руководство исследованием, анализ и обработка экспериментальных данных, интерпретация результатов и подготовка научной статьи.

**Звягин Г.А.** — интерпретация результатов и подготовка научной публикации.

**Бузовский К.П.** — разработка методологии исследования, проведение полевых и лабораторных исследований.

**Сидорик А.Д.** — проведение полевых и лабораторных исследований.

# WATER, LAND AND FOREST RESOURCES СУ, ЖЕР ЖӘНЕ ОРМАН РЕСУРСТАРЫ ВОДНЫЕ, ЗЕМЕЛЬНЫЕ И ЛЕСНЫЕ РЕСУРСЫ

RESEARCH, RESULTS – ІЗДЕНІСТЕР, НӘТИЖЕЛЕР – ИССЛЕДОВАНИЯ, РЕЗУЛЬТАТЫ

ISSN 2304-3334 (print)

Vol. 28. Is. 4. Number 112 (2026). Pp. 146–156

Journal homepage: <https://journal.kaznaru.edu.kz><https://doi.org/10.37884/4-2026/11>

IRSTI / FTAXP / МРНТИ / 68.01.85

**G.L. Akhilbekov<sup>1</sup>, S.A. Konarova<sup>1\*</sup>, G.K. Ismailova<sup>2</sup>, A.N. Aldiyarova<sup>2</sup>**<sup>1</sup>M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan;<sup>2</sup>Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: sandu\_teh@mail.ru

## GIS-BASED ASSESSMENT OF IRRIGATED AGRICULTURAL LAND PRODUCTIVITY USING SENTINEL-2 NDVI, ESBK, AND FDEI INDICATORS: A CASE STUDY OF SARYAGASH DISTRICT, TURKESTAN REGION, KAZAKHSTAN

**Akhilbekov Galymzhan Lesbekovich**, Senior Lecturer, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, KazakhstanE-mail: galym-teh@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-4342-2944>;**Konarova Sandugash Ashirbaevna**, Senior Lecturer, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, KazakhstanE-mail: sandu\_teh@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3703-185X>;**Ismailova Gaukharkul Kulpibekovna**, Candidate of Geographical Sciences, Senior Lecturer, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, KazakhstanE-mail: ismailova.gauharkul@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0008-4038-8544>;**Aldiyarova Ainura Esirkepovna**, PhD, Associate Professor, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, KazakhstanE-mail: ainura.aldiarova@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-6017-5182>.

**Abstract. Background and significance.** The effective management of irrigated agricultural land in arid areas depends on timely spatial information on crop condition and economic performance at the level of individual cadastral parcels. In practice, conventional land administration systems usually do not contain such operational data. As a result, decisions on irrigation scheduling, fertiliser application, and land reclamation are often made uniformly across fields, despite substantial spatial differences in land quality and productivity. This reduces both agronomic and economic efficiency. **Methods.** The study combined Sentinel-2 satellite imagery with digital cadastral boundaries to evaluate irrigated farmland in the Saryagash district of Turkestan Region, Kazakhstan, during 2023–2024. NDVI values were derived from Sentinel-2 imagery acquired on 14 June 2024 under cloud cover below 5 %, using bands B8 and B4 with a spatial resolution of 10 m. The processing and spatial analysis were carried out in QGIS 3.28. Two composite indicators were applied across ten irrigated farms with a total area of 371 ha. The Estimated Sowing Potential Coefficient (ESBK) was used to characterise land suitability by integrating soil quality, moisture availability, and salinity risk. The Farm Decision Efficiency Index (FDEI) was used to assess the economic viability of production by comparing gross revenue with total production costs per hectare; values above 1.0 indicate profitable farming. **Results.** The analysis showed considerable spatial variation among the studied farms. NDVI values ranged from 0.36 to 0.82. Two farms were identified as priority areas for reclamation, with ESBK values of 0.11–0.13, while three farms demonstrated relatively high land potential, with ESBK values of 0.50 and above. Farms with NDVI values of at least 0.70 consistently showed stronger economic performance, with FDEI values between 1.47 and 1.60 and net profits of 400–560 thousand KZT per hectare. By contrast, farms located in the south-

western salinity-affected zone had FDEI values below 1.0 and operated at a loss. After introducing NDVI-based management measures in 2024, the average yield increased by 26 %, water consumption decreased by 22 %, and the revenue index reached 1.35. *Practical implications.* The proposed NDVI–ESBK–FDEI framework can be used by district-level authorities and land managers to classify irrigated parcels, identify areas requiring reclamation, and distribute irrigation water on the basis of spatially differentiated productivity data. The approach is relatively inexpensive because it relies on freely available Sentinel-2 imagery and official cadastral information.

**Keywords:** NDVI; digital cadastre; ESBK; FDEI; irrigated agriculture; Saryagash district; GIS

**For citation:** Akhilbekov G.L., Konarova S.A., Ismailova G.K., Aldiyarova A.N. (2026). GIS-Based Assessment of Irrigated Agricultural Land Productivity Using Sentinel-2 NDVI, ESBK, and FDEI Indicators: A Case Study of Saryagash District, Turkestan Region, Kazakhstan // Research, results – Изденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 146–156. <https://doi.org/10.37884/4-2026/11> [In Eng.]

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

**Funding:** *The authors declare that this study was carried out without financial support from any organization, foundation, or grant.*

**Ғ.Л. Ахилбеков<sup>1</sup>, С.А. Конарова<sup>1\*</sup>, Г.К. Исмаилова<sup>2</sup>, А.Е. Алдиярова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан;

<sup>2</sup>Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: sandu\_teh@mail.ru

## SENTINEL-2 NDVI, ESBK ЖӘНЕ FDEI КӨРСЕТКІШТЕРІ НЕГІЗІНДЕ СУАРМАЛЫ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ЖЕРЛЕРІНІҢ ӨНІМДІЛІГІН ҒАЖ АРҚЫЛЫ БАҒАЛАУ: ТҮРКІСТАН ОБЛЫСЫ САРЫАҒАШ АУДАНЫ МЫСАЛЫНДА

**Ахилбеков Ғалымжан Лесбекович**, аға оқытушы, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

E-mail: alym-teh@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-4342-2944>;

**Конарова Сандуғаш Аширбаевна**, аға оқытушы, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

E-mail: sandu\_teh@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3703-185X>;

**Исмаилова Гаухаркуль Кулпыбековна**, география ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: sandu\_teh@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3703-185X>;

**Алдиярова Айнура Есиркеповна**, PhD, қауымдастырылған профессор, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: ainura.aldiarova@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-6017-5182>.

**Аннотация.** *Мәселе және өзектілігі.* Аридті аймақтардағы суармалы жерлерді тиімді басқару үшін кадастрлық учаске деңгейінде өсімдік жамылғысының жай-күйі мен шаруашылықтың экономикалық тиімділігі туралы жедел кеңістіктік деректер қажет. Алайда дәстүрлі жер әкімшілігі жүйелері мұндай мәліметтерді толық әрі уақытылы қамтамасыз ете алмайды. Соның салдарынан суаруды жоспарлау, тыңайтқыш енгізу және рекультивацияға инвестиция салу көбіне аумақтық ерекшеліктерді ескермей жүргізіледі, бұл жер және су ресурстарын пайдаланудың тиімділігін төмендетеді. *Әдістері.* Зерттеуде Sentinel-2 ғарыштық түсірілімдерінің NDVI деректері 2024 жылғы 14 маусымдағы, бұлттылығы 5 %-дан төмен суреттер негізінде цифрлық кадастрлық шекаралармен QGIS 3.28 бағдарламасында біріктірілді. Талдау Қазақстанның Түркістан облысы Сарыағаш ауданындағы жалпы ауданы 371 га болатын 10 суармалы шаруашылыққа 2023–2024 жылдар аралығында жүргізілді. NDVI индексі Sentinel-2 серігінің B8 және B4 арналары бойынша 10 м кеңістіктік ажыратымдылықпен есептелді. Сонымен қатар екі жиынтық көрсеткіш қолданылды: ESBK егістік әлеует коэффициенті топырақ сапасын, ылғалмен қамтамасыз етілуін және тұздану қаупін біріктірсе, FDEI индексі жалпы табыс пен гектарына шаққандағы өндірістік шығындарды салыстыру арқылы шаруашылық шешімдерінің эконо-

микалық тиімділігін бағалады. *Нәтижелері.* Зерттелген шаруашылықтарда NDVI 0,36–0,82 аралығында өзгерді. Екі шаруашылық ESBK 0,11–0,13 көрсеткіштерімен басым рекультивация аймағы ретінде анықталды, ал үш шаруашылық ESBK  $\geq 0,50$  деңгейінде жоғары жер әлеуетін көрсетті. NDVI  $\geq 0,70$  болған шаруашылықтарда FDEI 1,47–1,60 аралығында болып, таза пайда 400–560 мың теңгені құрады. Оңтүстік-батыс тұздану аймағындағы шаруашылықтарда FDEI 1,0-ден төмен болып, шығын тіркелді. 2024 жылы NDVI негізінде қабылданған шаралар нәтижесінде орташа өнімділік 26 %-ға артты, су шығыны 22 %-ға азайды, ал табыс индексі 1,35-ке жетті. *Практикалық маңызы.* Ұсынылған NDVI–ESBK–FDEI тәсілі суармалы жерлерді жіктеуге, рекультивацияны басымдандыруға және су ресурстарын дәлелді бөлуге мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** NDVI; цифрлық кадастр; ESBK; FDEI; суармалы егіншілік; Сарыағаш ауданы; ГАЖ

**Дәйексөз үшін:** Ахилбеков Ғ.Л., Конарова С.А., Исмаилова Ғ.К., Алдиярова А.Е. (2026). SENTINEL-2 NDVI, ESBK және FDEI көрсеткіштері негізінде суармалы ауыл шаруашылығы жерлерінің өнімділігін гаж арқылы бағалау: түркістан облысы сарыағаш ауданы мысалында // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 146–156. <https://doi.org/10.37884/4-2026/11> [In Eng.]

**Мүдделер қақтығысы:** авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

**Қаржыландыру:** авторлар бұл зерттеудің ешқандай ұйымның, қордың немесе гранттың қаржылық қолдауынсыз жүргізілгенін мәлімдейді.

**Ғ.Л. Ахилбеков<sup>1</sup>, С.А. Конарова<sup>1\*</sup>, Ғ.К. Исмаилова<sup>2</sup>, А.Е. Алдиярова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан;

<sup>2</sup>Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан.

E-mail: sandu\_teh@mail.ru

## ГИС-ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ ОРОШАЕМЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ НА ОСНОВЕ ИНДИКАТОРОВ SENTINEL-2 NDVI, ESBK И FDEI: НА ПРИМЕРЕ САРЫАГАШСКОГО РАЙОНА ТУРКЕСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

**Ахилбеков Ғалымжан Лесбекович**, старший преподаватель, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

E-mail: alym-teh@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-4342-2944>;

**Конарова Сандуғаш Аширбаевна**, старший преподаватель, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

E-mail: sandu\_teh@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3703-185X>;

**Исмаилова Гаухаркуль Кулпыбековна**, кандидат географических наук, старший преподаватель, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан

E-mail: sandu\_teh@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3703-185X>;

**Алдиярова Айнура Есиркеповна**, PhD, ассоциированный профессор, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан

E-mail: ainura.aldiarova@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-6017-5182>.

**Аннотация.** *Проблема и актуальность.* Эффективное управление орошаемыми сельскохозяйственными землями в аридных регионах требует наличия оперативных пространственных данных о состоянии растительности и экономической результативности землепользования на уровне кадастрового участка. Однако традиционные системы земельного администрирования, как правило, не обеспечивают получение такой информации в нужной детализации и в актуальные сроки. В результате решения, связанные с планированием полива, внесением удобрений и финансированием рекультивационных мероприятий, часто принимаются без учета пространственной неоднородности земель, что снижает эффективность использования водных и земельных ресурсов. *Методы.* В исследовании данные спутникового мониторинга Sentinel-2 были объединены с цифровыми границами кадастровых участков в среде QGIS 3.28. В качестве исходного материала использовалось изображение от 14 июня 2024 года с облачностью менее 5%. Анализ проводился для десяти орошаемых хозяйств общей пло-

пашадью 371 га, расположенных в Сарыагашском районе Туркестанской области Казахстана, за период 2023–2024 гг. Индекс NDVI рассчитывался по каналам B8 и B4 с пространственным разрешением 10 м. Для комплексной оценки применялись два показателя: коэффициент потенциала сева ESBK, учитывающий качество почвы, влагообеспеченность и риск засоления, и индекс эффективности фермерских решений FDEI, отражающий соотношение валового дохода и общих производственных затрат на гектар. *Результаты.* Значения NDVI варьировали от 0,36 до 0,82. Два хозяйства были отнесены к приоритетным зонам рекультивации при ESBK 0,11–0,13, тогда как три хозяйства показали высокий земельный потенциал при ESBK не ниже 0,50. Установлено, что при  $NDVI \geq 0,70$  хозяйства достигали FDEI 1,47–1,60 и чистой прибыли 400–560 тыс. тенге, тогда как в юго-западной зоне засоления фиксировались значения FDEI ниже 1,0 и убытки. После внедрения NDVI-ориентированных мероприятий в 2024 году средняя урожайность увеличилась на 26 %, водопотребление сократилось на 22 %, а индекс дохода достиг 1,35. *Практическое значение.* Предложенный подход NDVI–ESBK–FDEI может использоваться для классификации орошаемых участков, определения приоритетов рекультивации и более обоснованного распределения оросительной воды.

**Ключевые слова:** NDVI, цифровой кадастр, ESBK, FDEI, орошаемое земледелие; Сарыагашский район, ГИС

**Для цитирования:** Ахилбеков Ф.Л., Конарова С.А., Исмаилова Г.К., Алдиярова А.Е. (2026). Гис-оценка продуктивности орошаемых сельскохозяйственных угодий на основе индикаторов SENTINEL-2 NDVI, ESBK И FDEI: на примере сарыагашского района туркестанской области // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 146–156. <https://doi.org/10.37884/4-2026/11> [In Eng.]

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** авторы заявляют, что данное исследование было проведено без финансовой поддержки со стороны какой-либо организации, фонда или гранта.

## Introduction.

Efficient management of agricultural land in arid irrigated regions remains a major challenge for food security, water governance, and rural economic development. In Central Asia, where irrigated agriculture accounts for more than 90% of total freshwater withdrawals, the accuracy and operational relevance of land information systems largely determine the sustainability of farming systems (FAO, 2022; World Bank, 2021). This issue is particularly important in the Turkestan region of Kazakhstan, where annual precipitation is limited to 200–350 mm and competition for irrigation water from the Syr Darya basin is steadily increasing. Under such conditions, land management decisions made at the farm level have a direct effect on both economic performance and long-term water sustainability [Zhupankhan et al., 2022].

Digital cadastre systems provide accurate spatial information on parcel boundaries, land area, tenure status, and designated land use. In practice, however, these systems are used mainly for legal registration and ownership administration rather than for operational agricultural planning [Petrova, 2018; World Bank, 2021]. As a result, the actual productive potential of a cadastral parcel, including soil quality, moisture availability, vegetation condition, salinity risk, and expected economic return, is not reflected in standard cadastral records. To evaluate these characteristics, cadastral information must be integrated with remote sensing, agronomic, and economic data.

Among the available geospatial tools, the Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) derived from Sentinel-2 multispectral imagery is one of the most widely used indicators for assessing crop condition at the field scale. NDVI provides spatially continuous and operationally accessible information on crop canopy development, photosynthetic activity, and plant response to water stress [Jensen, 2018; Li & Wang, 2021]. When overlaid with cadastral parcel boundaries in a GIS environment, NDVI makes it possible to assess vegetation status at the parcel level, identify localised stress zones, and compare the agronomic condition of different farms. This spatially explicit perspective provides a level of analytical detail that cannot be obtained from tabular land records alone [Zhang et al., 2020].

To connect remote sensing data with practical land management decisions, this study develops and applies two composite indicators. The first is the Estimated Sowing Potential Coefficient (ESBK), which combines NDVI with indicators of soil quality, moisture availability, and salinity-related risk in order to characterise the productive potential of irrigated land. The second is the Farm Decision Efficiency Index

(FDEI), which evaluates the economic return on farm inputs by comparing gross revenue with production costs [Rahman, 2020]. The combined application of these indicators allows land parcels to be assessed not only in terms of biophysical condition but also in terms of economic performance, thereby creating a more comprehensive basis for management decisions.

The aim of the study is to assess the efficiency of agricultural land management in Saryagash district through the integrated use of digital cadastre data, Sentinel-2 NDVI-based spatial analysis, ESBK land potential assessment, and FDEI economic efficiency evaluation across ten irrigated farms during 2023–2024.

The role of GIS and remote sensing in precision agriculture has been widely documented in the scientific literature [Longley et al., 2019; Jensen, 2018] demonstrated that satellite-derived vegetation indices serve as reliable proxies for crop biomass and stress conditions at the field scale, thereby providing an empirical basis for NDVI-based farm management. Li and Wang (2021) further showed that Sentinel-2 multispectral data with a spatial resolution of 10–20 m are sufficient for parcel-level NDVI monitoring and can support operational decision-making in irrigated farming systems.

The integration of cadastral data with satellite monitoring has also been discussed in the context of land administration reform and agricultural modernisation. Petrova (2018) noted that digital cadastre systems in transition economies remain underutilised in agricultural planning despite containing precise spatial information essential for land management. Similarly, the World Bank (2021) identified the weak linkage between cadastral systems and agronomic performance indicators as a structural barrier to improving irrigation efficiency in Central Asia. Ivanov (2020) proposed GIS-based land evaluation models for irrigated agriculture that incorporated soil quality, moisture regime, and economic productivity, thereby providing a conceptual foundation for the ESBK approach used in this study. Torres (2021) developed composite economic indicators for agricultural land management and demonstrated their usefulness in identifying efficiency gradients across groups of farms.

A number of studies have also confirmed the importance of NDVI for identifying spatial risk patterns in salinity-affected irrigated landscapes. Kim and Lee (2019) showed that NDVI values below 0.40 in Central Asian irrigated systems are strongly associated with salinity-induced yield reduction. Dun et al. (2021) identified similar spatial NDVI gradients in arid irrigated zones and related them to groundwater depth and soil texture variability. Ahmed and Hassan (2019), as well as Silva (2022), demonstrated that GIS-based multi-criteria frameworks integrating remote sensing and agronomic data can provide effective operational support for land and water management in arid irrigated environments comparable to Saryagash district. Brown and Smith (2021) reported that NDVI-guided irrigation scheduling may reduce water use by 15–20 % while maintaining or increasing yields, which offers an important comparative benchmark for interpreting the 22 % reduction in water consumption observed in the present study.

Overall, the reviewed literature confirms the growing importance of integrating cadastral information, GIS analysis, satellite monitoring, and economic indicators in agricultural land management. In the conditions of Kazakhstan, the applicability of Sentinel-based remote sensing to agricultural land assessment has been demonstrated by several national research teams: [Mukhamediev et al., 2023; Amirgaliyev et al., 2024] applied machine-learning models to Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat data for mapping soil salinity in the southern regions of the country, while [Arystanov et al., 2025] used Sentinel-2 imagery for the automatic classification of agricultural crops in the rainfed zone of southern Kazakhstan, and Arystanov et al. (2026) examined land-use sustainability in the foothill zones of southern Kazakhstan on the basis of Sentinel-2 data. At the same time, there remains a limited number of applied studies that combine these components at the cadastral parcel level under the specific environmental and irrigation conditions of southern Kazakhstan. In this regard, the present study seeks to fill an important methodological and practical gap by proposing an integrated framework for parcel-level assessment of irrigated land condition, productive potential, and economic efficiency.

## **Materials and methods.**

### *Study Area and Sampling Framework*

The present study was carried out in Saryagash District, located within Turkestan Region of the Republic of Kazakhstan. For the purposes of spatial analysis, ten irrigated agricultural farms with a combined total area of 371 hectares were systematically selected and included in the dataset. The geographical distribution of the selected farms was deliberately planned to encompass the principal agroecological zones characteristic of the district, including the canal-irrigated agricultural territories situated in the northern part of the district as well as the salinity-affected lowland areas concentrated in the southern sector. The farm selection procedure was

specifically designed to ensure that the resulting dataset adequately represents the full range of NDVI values and the diversity of agricultural management conditions that have been documented across the district, thereby providing a representative basis for district-level analysis and interpretation.

#### *Remote Sensing Data Acquisition and NDVI Computation*

Multispectral satellite imagery from the Sentinel-2 mission was obtained through the Copernicus Open Access Hub platform for the acquisition date of 14 June 2024, with the selected scene characterized by a scene-level cloud cover fraction not exceeding five percent. The Normalized Difference Vegetation Index was computed from the ratio of near-infrared and red surface reflectance values in accordance with the following standard expression:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (1)$$

The computation utilized Sentinel-2 spectral bands B8, corresponding to the near-infrared channel, and B4, corresponding to the red channel, both of which are available at a native spatial resolution of 10 meters. Following index calculation, the resulting continuous NDVI raster layer was spatially overlaid with digitized cadastral parcel boundaries within the QGIS 3.28 geographic information system environment. Mean NDVI values representative of the vegetative condition of each individual farm were subsequently extracted by applying the zonal statistics function to the raster-vector overlay. A thematic district-scale NDVI map, presented as Figure 2, was compiled within QGIS and incorporates cadastral boundary delineations, farm identification labels, and a four-class spectral vegetation condition legend. The classification thresholds applied were as follows: red shading for NDVI values below 0.40, designating zones of agronomic risk; yellow shading for the range 0.40 to 0.55, indicating moderate vegetative cover; green shading for values between 0.55 and 0.70, reflecting satisfactory crop development; and dark green shading for values at or above 0.70, corresponding to high productivity conditions.

#### *Calculation of the Estimated Sowing Potential Coefficient (ESBK)*

The agronomic sowing potential of each study farm was quantified by means of the Estimated Sowing Potential Coefficient, hereafter referred to as ESBK, which was computed according to the following multiplicative expression:

$$ESBK = S \times M \times (1 - R) \quad (2)$$

Within this formulation, the variable S represents the soil quality index, which was derived through normalization of official cadastral soil quality scores onto a continuous scale ranging from 0 to 1. The variable M denotes the moisture availability index, which was operationalized using the farm-level mean NDVI value as an empirical proxy for the actual water supply conditions experienced by crops during the growing season, also expressed on a 0-to-1 scale. The variable R constitutes a composite risk coefficient that integrates the combined negative influence of soil salinity conditions and the occurrence of shallow groundwater tables at the farm level, likewise expressed on a scale from 0 to 1, where higher coefficient values correspond to a greater degree of agronomic risk. The factor  $(1 - R)$  thus functions as a risk-adjusted multiplier that discounts the sowing potential estimate in proportion to the severity of environmental constraints.

#### *Calculation of the Farm Decision Efficiency Index (FDEI)*

The economic efficiency of farm-level decision-making was assessed through the Farm Decision Efficiency Index, referred to hereafter as FDEI, which was calculated using the following ratio:

$$FDEI = \text{Revenue} / (\text{Input costs} + \text{Water costs}) \quad (3)$$

In this expression, Revenue refers to the gross income generated from crop production activities at the farm level, expressed in Kazakhstani tenge per hectare. Input costs and Water costs together constitute the total agricultural production expenditure per hectare, encompassing all direct production inputs as well as irrigation water supply costs. Farm-level financial data underlying these calculations were obtained from individual farm production accounts and from official records maintained by the Saryagash District Agricultural Authority, with data covering the agricultural seasons of 2023 and 2024. An FDEI value greater than 1.0 is interpreted as indicating a financially profitable farm operation, whereas an FDEI value below 1.0 signifies that the farm is

operating at a loss relative to its total production costs.

### *Statistical Analysis*

The scope of statistical analysis applied in this study was deliberately restricted to descriptive statistics and threshold-based classification procedures. The decision to forego inferential statistical testing was justified by the nature of the dataset: since all ten farms operating within the defined study perimeter were included in the analysis, the dataset constitutes a complete census of the target population rather than a probabilistic sample drawn from a larger population, thereby rendering inferential significance testing methodologically inappropriate.

### **Results.**

#### *Spatial Distribution of NDVI Values and Farm-Level Classification*

The district-wide NDVI map derived from Sentinel-2 imagery (Fig. 2) demonstrates considerable spatial variation in vegetation conditions across the territory of Saryagash District. Zones characterized by elevated NDVI values at or above the 0.70 threshold are predominantly concentrated in the northern and eastern portions of the district, where irrigation canal networks remain in adequate operational condition and soil salinity levels are comparatively low. In contrast, areas exhibiting pronounced vegetation stress, reflected by NDVI values falling below 0.40, are found primarily in the south-western part of the district. These low-productivity zones are associated with the occurrence of shallow groundwater tables at depths ranging from 1.5 to 2.5 metres and with active secondary soil salinisation processes.

The NDVI, ESBK, and FDEI values computed for all ten study farms are consolidated in Table 1. NDVI values across the farm set span a range from 0.36, recorded at Zher-Ana farm, to 0.82, recorded at Talas-Agro farm. This gradient follows a discernible north-to-south spatial trend that corresponds directly to the vegetation condition pattern visible in Fig. 2. With respect to the Estimated Sowing Potential Coefficient, computed values range between 0.11 at Zher-Ana and 0.57 at Talas-Agro. Two farms - F6 Zher-Ana and F7 Nur-Agro – returned ESBK values at or below the reclamation priority threshold of 0.15, indicating that these farms require targeted land amelioration intervention before productive agricultural use can be sustained. Analysis of the Farm Decision Efficiency Index reveals a pronounced differentiation relative to the profitability threshold of 1.0: five farms in the dataset achieved FDEI values of 1.40 or higher, demonstrating strong economic returns from crop production, while three farms recorded FDEI values below 1.0, signifying that their total production costs exceeded gross revenues and that these operations were generating net financial losses during the study period.

Table 1. NDVI, ESBK and FDEI indicators for 10 farms, Saryagash district (2024)

| Farm              | Area (ha) | NDVI | S    | M    | R    | ESBK | FDEI | Net profit (KZT/ha) | Zone |
|-------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|---------------------|------|
| Talas-Agro (F1)   | 45        | 0.82 | 0.85 | 0.90 | 0.08 | 0.57 | 1.60 | +560 000            | ↑    |
| Orken (F2)        | 38        | 0.78 | 0.80 | 0.87 | 0.10 | 0.54 | 1.52 | +490 000            | ↑    |
| Bereke (F3)       | 41        | 0.74 | 0.78 | 0.83 | 0.11 | 0.50 | 1.47 | +400 000            | ↑    |
| Zhambyl-Agro (F4) | 36        | 0.64 | 0.70 | 0.75 | 0.15 | 0.42 | 1.28 | +280 000            | ↔    |
| Nurlan (F5)       | 35        | 0.58 | 0.65 | 0.70 | 0.18 | 0.38 | 1.15 | +195 000            | ↔    |
| Zher-Ana (F6)     | 33        | 0.36 | 0.40 | 0.42 | 0.28 | 0.11 | 0.90 | −85 000             | ↓    |
| Nur-Agro (F7)     | 34        | 0.39 | 0.42 | 0.44 | 0.26 | 0.13 | 0.90 | −65 000             | ↓    |
| Altyn (F8)        | 32        | 0.52 | 0.58 | 0.62 | 0.21 | 0.31 | 1.08 | +120 000            | ↔    |
| Alatau (F9)       | 40        | 0.68 | 0.72 | 0.77 | 0.13 | 0.45 | 1.35 | +330 000            | ↑    |
| Meridian (F10)    | 37        | 0.60 | 0.66 | 0.71 | 0.16 | 0.40 | 1.20 | +210 000            | ↔    |

Notes: ↑ high potential; ↔ medium; ↓ low / reclamation priority. *S* = soil quality index; *M* = moisture availability index; *R* = risk coefficient.

### **Discussion.**

The central result of this study - a robust and consistent positive relationship between NDVI, ESBK, and FDEI that is spatially structured according to the farm location pattern illustrated in Fig. 2 - provides empirical validation for the integrated cadastre–satellite–economics framework proposed in this research. The north-to-south gradient in NDVI values observed across the district reflects the combined influence of two interacting environmental factors: the spatial distribution of irrigation water accessibility and the spatial pattern of soil

salinity. Farms situated in the northern sector of the district, where canal irrigation infrastructure is in adequate operational condition and water delivery is reliable, consistently attain NDVI values at or above the 0.70 threshold. Conversely, farms located in the south-western sector - where the presence of shallow groundwater tables at limited depths promotes and accelerates the progression of secondary soil salinisation - exhibit □ NDVI values that fall below 0.40, indicating severe vegetation stress. This spatially structured productivity pattern aligns with the findings reported by Dun et al. (2021) and Kim & Lee (2019), whose investigations established that salinity-induced suppression of the vegetation index constitutes a primary mechanism driving yield deficits in irrigated agricultural systems across Central Asia.

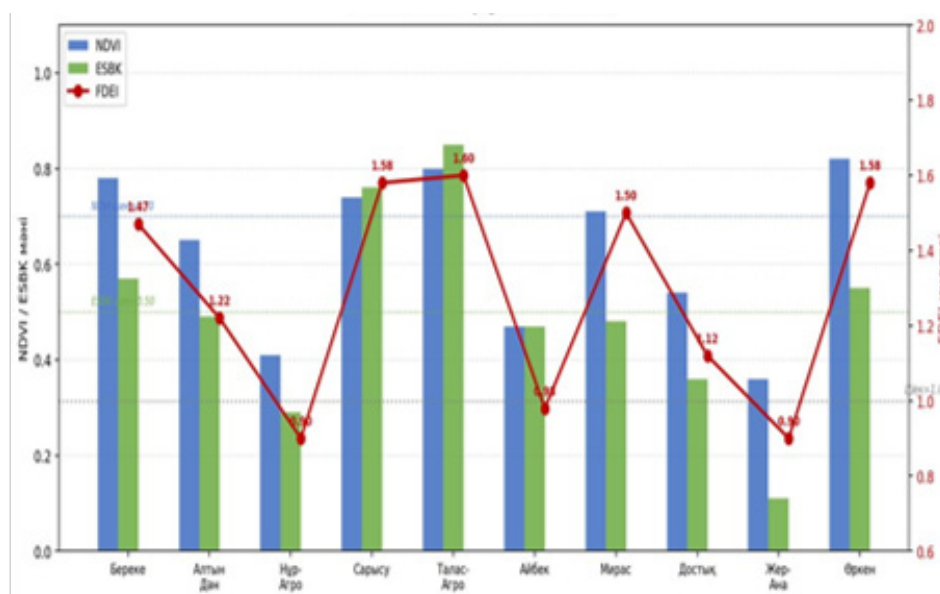


Fig. 1. NDVI, ESBK, and FDEI indicators for 10 study farms, Saryagash district (2024). Red dashed line = FDEI profitability threshold (1.0). Farms ordered from low-NDVI (Zher-Ana, Nur-Agro) to high-NDVI (Talas-Agro, Orken).

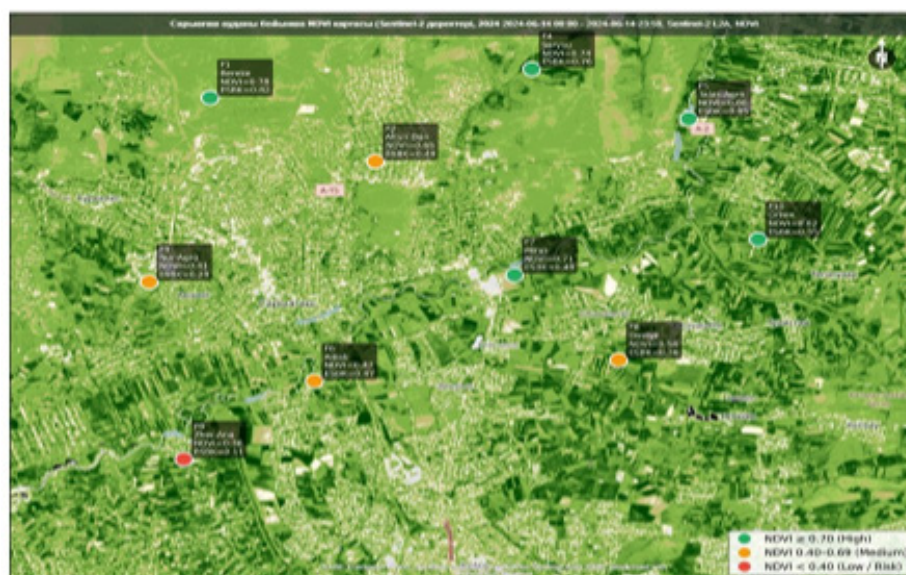


Fig. 2. NDVI map of Saryagash district with farm locations (Sentinel-2 L2A, 14 June 2024, Copernicus EO Browser). Red: NDVI < 0.40 (risk zone); yellow: 0.40–0.55; green: 0.55–0.70; dark green: ≥ 0.70 (high productivity). Cadastral boundaries and farm labels shown.

### Comparative Assessment of 2023–2024 Production Outcomes

Table 2 summarises district-level agricultural performance indicators before and after the implementation of NDVI-guided field management practices in 2024. The average crop yield across the study farms increased from 23 dt/ha in 2023 to 29 dt/ha in 2024, representing a relative improvement of 26 percent. The water use index declined by 22 percent relative to the 2023 baseline value, reflecting greater irrigation efficiency under the revised management approach. The revenue index rose to 1.35, corresponding to a 35 percent improvement over the preceding season. The number of farms achieving an FDEI exceeding 1.10 increased from five out of ten in 2023 to seven out of ten in 2024, while the number of farms recording an FDEI below the profitability

threshold of 1.0 decreased from three to two over the same period.

Table 2. Comparative performance indicators, 2023 vs. 2024

| Indicator              | 2023            | 2024         |
|------------------------|-----------------|--------------|
| Average yield (dt/ha)  | 23              | 29 (+26 %)   |
| Water use index        | 1.00 (baseline) | 0.78 (–22 %) |
| Revenue index          | 1.00            | 1.35 (+35 %) |
| Farms with FDEI > 1.10 | 5 / 10          | 7 / 10       |
| Farms with FDEI < 1.00 | 3 / 10          | 2 / 10       |

*Source: Farm production accounts and Saryagash District Agricultural Authority data, 2023–2024.*

The correspondence observed between the spatial risk zones delineated in Fig. 2 and the economic performance outcomes presented in Table 1 carries particular significance from a land use policy and agricultural management perspective. The farms Nur-Agro and Zher-Ana, both of which are situated within the low-NDVI south-western risk sector, recorded FDEI values of 0.90 and generated net financial losses over the study period, despite having formal access to irrigation water supply. This outcome confirms that the availability of irrigation infrastructure alone does not constitute a sufficient condition for ensuring farm-level profitability when soils are affected by significant salinity, a conclusion that is consistent with the findings of Ahmed & Hassan (2019). The ESBK values of 0.11 and 0.13 computed for these two farms provide a quantitative measure of their productive deficit relative to the district average and furnish an objective, index-based justification for their designation as priority zones requiring targeted land reclamation and soil amelioration interventions before sustainable agricultural productivity can be restored.

The 22 percent reduction in water consumption achieved through the implementation of NDVI-guided irrigation scheduling in the 2024 season surpasses the 15 to 20 percent improvement range documented in comparable studies by Brown & Smith (2021). This superior outcome is most plausibly attributable to the particularly suboptimal character of the pre-intervention baseline irrigation regime in the study district, which provided a larger margin for efficiency improvement than was available in the contexts examined in previous research. The simultaneous 26 percent increase in average crop yield recorded alongside the reduction in water use confirms that the water savings were accomplished not through a uniform curtailment of irrigation volumes across all farm parcels, but rather through a spatially differentiated reallocation of available irrigation water away from low-NDVI risk zones - where additional water inputs generate diminishing agronomic returns and toward high-potential parcels where irrigation efficiency and crop response are substantially greater.

A key methodological limitation of the present study is the reliance on a single-date NDVI acquisition from June 2024 rather than a multi-temporal remote sensing dataset spanning multiple phenological stages and growing seasons. This constraint limits the capacity of the analysis to distinguish between structural and persistent differences in land productivity on the one hand, and transient seasonal anomalies in vegetation condition attributable to short-term climatic or management factors on the other. To address this limitation, future research efforts should incorporate multi-year NDVI time series encompassing a minimum of three to five complete growing seasons. Such longitudinal remote sensing data would enable rigorous validation of the spatial risk zones identified in this study and would provide a robust empirical basis for monitoring and evaluating the effectiveness of reclamation interventions over time.

A further limitation concerns the fact that the present analysis characterised moisture conditions only indirectly, by employing the farm-level mean NDVI value as an empirical proxy for water supply within the moisture component (M) of the ESBK. Soil moisture, however, is one of the essential indicators reflecting the water content of the soil, and its direct spectral estimation can substantially improve the assessment of drought stress and crop condition. For the monitoring of vegetation water status, the evaluation of drought and the analysis of crop condition, dedicated spectral moisture indices are widely applied, in particular the Normalised Difference Moisture Index (NDMI), which exploits the near-infrared and short-wave infrared bands (B8 and B11) of Sentinel-2 to capture the water content of vegetation and the upper soil layer. To achieve a more complete and physically grounded characterisation of moisture conditions, future research should therefore incorporate the direct computation of NDMI for the assessment of moisture content in both plants and soil, together with the Normalised Difference Water Index (NDWI), which relies on the green and near-infrared bands and provides a complementary measure of the moisture status of the soil surface cover. The combined

use of NDMI and NDWI alongside NDVI would allow the moisture component of the ESBK to be derived from independent spectral evidence rather than from a vegetation-index proxy alone, thereby strengthening both the diagnostic reliability and the agronomic interpretability of the proposed framework.

### Conclusion.

The findings of this study demonstrate that the combined integration of digital cadastral data with Sentinel-2 satellite-derived NDVI spatial mapping, ESBK land productive potential assessment, and FDEI farm economic efficiency measurement yields a fully operational and evidence-grounded framework for the sustainable management of irrigated agricultural land in Saryagash District. The annotated district-scale NDVI map (Fig. 2) reveals a spatially structured and geographically coherent north-to-south gradient in vegetation productivity. High-NDVI clusters attaining values at or above 0.70 are concentrated in the northern and eastern sectors of the district where canal irrigation infrastructure ensures reliable water delivery, while low-NDVI risk zones characterized by values below 0.40 are located in the salinised south-western sector. This spatially organized productivity pattern directly and reliably predicts the farm-level ESBK sowing potential coefficients and FDEI economic efficiency outcomes documented in Table 1, thereby confirming the diagnostic and predictive value of satellite vegetation mapping as a tool for agricultural land assessment.

Three distinct scientific contributions are advanced by this study. First, this research presents the first spatially explicit integration framework combining cadastral land records, Sentinel-2 NDVI vegetation mapping, ESBK sowing potential coefficients, and FDEI economic efficiency indicators for Saryagash District, accompanied by georeferenced farm-level performance mapping that enables spatial visualization of productivity and economic differentiation across the study area. Second, the study provides quantitative empirical evidence establishing that the NDVI-based spatial risk classification map constitutes a reliable predictor of farm-level economic performance: farms achieving NDVI values at or above 0.70 consistently recorded FDEI values exceeding 1.40, whereas farms with NDVI values below 0.40 uniformly fell below the FDEI profitability threshold of 1.0. Third, the study documents the measurable effects of NDVI-guided management interventions implemented during the 2024 growing season, which produced a 26 percent increase in average crop yield, a 22 percent reduction in water consumption, and a 35 percent improvement in the revenue index relative to the 2023 baseline, collectively demonstrating the practical agronomic and economic value of remote sensing-informed farm management.

On the basis of these findings, three strategic recommendations are put forward for consideration by district and regional agricultural authorities. First, district-level NDVI risk mapping should be performed on a biannual basis to ensure that all irrigated cadastral parcels within the district are systematically classified into corresponding ESBK productivity zones, providing decision-makers with regularly updated spatial intelligence on land condition and agricultural risk. Second, farms F6 (Zher-Ana) and F7 (Nur-Agro), both of which recorded ESBK values below the 0.15 reclamation threshold, should be formally designated as immediate reclamation priority plots and subjected to targeted soil amelioration programmes, including drainage improvement and salinity management measures, to restore their productive potential. Third, the integrated cadastre–NDVI–ESBK–FDEI methodology developed and validated in this study should be systematically extended to all irrigated agricultural districts within Turkestan Region, leveraging the free and open availability of Sentinel-2 multispectral imagery through the Copernicus programme to enable cost-effective, scalable, and reproducible land productivity assessment across the region.

### REFERENCES

- Ahmed M. & Hassan F. (2019). GIS-based land suitability analysis for sustainable agriculture in arid regions. *Agricultural Systems*. 172. 47–58. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2018.12.009>
- Amirgaliyev, Y., Mukhamediev, R., Merembayev, T., Kuchin, Y., Ataniyazova, A., & Omarova, P. (2024). Remote sensing and machine learning algorithms to predict soil salinity in southern Kazakhstan. *Discover Sustainability*. 5(1). 363. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00594-8>
- Arystanov A., Sagin J., Karabkina N., Arystanova R., Yermekov F., Kabzhanova G., Bekseitova R., Aktymbayeva A. & Kutymova N. (2025). Automatic classification of agricultural crops using Sentinel-2 data in the rainfed zone of southern Kazakhstan. *Agronomy*. 15(9). 2040. <https://doi.org/10.3390/agronomy15092040>
- Arystanov A., Sagin J., Kabzhanova G., Sarsekova D., Bekseitova R., Molzhigitova D., Balkozha M., Yeleuova E. & Satvaldiyev B. (2026). Winter cereal re-sowing and land-use sustainability in the foothill zones of southern Kazakhstan based on Sentinel-2 data. *Sustainability*. 18(2). 1053. <https://doi.org/10.3390/su18021053>
- Brown R. & Smith J. (2021). NDVI-based crop stress detection and precision irrigation scheduling. *Precision Agriculture*. 22(4). 1203–1219. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09782-7>
- Dun Z., Wang Y., Feng H. & Si J. (2021). Water consumption and irrigation efficiency of cotton under different irrigation methods in arid Northwest China // *Journal of Hydrology*. 603. 127011. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127011>
- FAO. (2022). Digital agriculture and sustainable land management. FAO. <https://www.fao.org/digital-agriculture>
- Ivanov A. (2020). Land evaluation using GIS models in irrigated agriculture // *Journal of Land Use Science*. 15(3). 298–314. <https://doi.org/10.1080/17447757.2020.1811111>

org/10.1080/1747423X.2020.1782349

Jensen J.R. (2018). Remote sensing of the environment: An Earth resource perspective (3rd ed.). Pearson.

Kim H. & Lee S. (2019). Remote sensing for soil salinity mapping in irrigated croplands. *Geoderma*. 337. 1147–1157. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.11.005>

Li J. & Wang Y. (2021). Satellite monitoring of irrigated agriculture using Sentinel-2 // *International Journal of Remote Sensing*. 42(12). 4589–4611. <https://doi.org/10.1080/01431161.2021.1895435>

Longley P., Goodchild M., Maguire D. & Rhind D. (2019). *Geographic information systems and science* (4th ed.). Wiley.

Mukhamediev R.I., Merembayev T., Kuchin Y., Malakhov D., Zaitseva E., Levashenko V., Popova Y., Symagulov A., Sagatdinova G. & Amirgaliyev Y. (2023). Soil salinity estimation for South Kazakhstan based on SAR Sentinel-1 and Landsat-8,9 OLI data with machine learning models. *Remote Sensing*. 15(17). 4269. <https://doi.org/10.3390/rs15174269>

Petrova S. (2018). Digital cadastre as a tool for land management in transition economies. *Land Use Policy*. 79. 1052–1063. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.09.022>

Rahman, M. (2020). Economic efficiency in farm management: A resource productivity approach // *Journal of Agricultural Economics*. 71(2). 445–461. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12348>

Silva P. (2022). GIS for agricultural planning and decision support in arid irrigated regions. *Computers and Electronics in Agriculture*. 196. 106836. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106836>

Torres L. (2021). Economic indicators in agricultural land management: A composite framework. *Agricultural Economics Review*. 22(1). 37–52. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.315843>

World Bank. (2021). *Land administration systems for sustainable development*. World Bank.

Zhang X., Liu, Y. & Chen Z. (2020). Using NDVI to assess crop productivity in irrigated areas of Central Asia. *Remote Sensing of Environment*. 240. 111671. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111671>

Zhupankhan A., Tussupova K., Doering M., Soderstrom M. & Thevs N. (2022). Water resources of Kazakhstan: Current state, issues and perspectives. *Water*. 14(3). 391. <https://doi.org/10.3390/w14030391>



**N.M. Ashimkhan<sup>1</sup>, A.K. Igembaeva<sup>2</sup>, A.N. Zhildikbaeva<sup>1\*</sup>, R. Puziene<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Egyptian University of Islamic Culture Nur-Mubarak, Almaty, Kazakhstan;

<sup>3</sup>Vytautas Magnus University, Kaunas, Lithuania.

E-mail. [a.zhildikbaeva@mail.ru](mailto:a.zhildikbaeva@mail.ru)

## ANALYSIS OF THE SYSTEM OF EFFECTIVE USE OF AGRICULTURAL LAND IN ALMATY REGION BASED ON GEOINFORMATION TECHNOLOGY

**Ashimkhan Nazerke**, doctoral student; Kazakh National Agrarian Research University; Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty region, Almaty Abaya Ave. 8

E-mail: [ashimkhan\\_nazerke@mail.ru](mailto:ashimkhan_nazerke@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0002-3345-3375>;

**Igembaeva Ainur**, doctor PhD, associate Professor, Egyptian University of Islamic Culture Nur-Mubarak, 73 Al-Farabi Avenue 050060, Almaty, St. Republic of Kazakhstan

E-mail: [a555\\_muslima@mail.ru](mailto:a555_muslima@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0005-6656-2270>;

**Zhildikbayeva Aizhan**, Ph.D; associate Professor of the Department of Land Resources and Cadastre; Kazakh National Agrarian Research University; Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty region, Almaty Abaya Ave. 8

E-mail: [a.zhildikbaeva@mail.ru](mailto:a.zhildikbaeva@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-3556-651X>;

**Ruta Puziene**, associate professor of the Department of Land Use Planning and Geomatics. Professor, Doctor of technical sciences, Vytautas Magnus University, Kaunas, Lithuania

E-mail: [ruta.puziene@vdu.lt](mailto:ruta.puziene@vdu.lt), <https://orcid.org/0000-0003-2175-6838>.

**Abstract. Introduction.** The effective use of agricultural land is a key factor in ensuring sustainable agricultural development and food security. In the context of increasing anthropogenic pressure and climate variability, there is a growing need for modern tools to assess land-use efficiency. Geoinformation technologies and remote sensing provide reliable methods for monitoring vegetation cover and analyzing spatial patterns of land productivity. **Materials and methods.** This study is based on the use of Geographic Information Systems (GIS) and satellite imagery (Landsat) for the years 2015, 2020, and 2025. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was calculated to assess vegetation condition and land productivity. Spatial analysis was carried out using ArcGIS Pro, including classification and comparative analysis of NDVI maps. **Results and discussion.** The analysis revealed significant spatial differentiation of vegetation cover across the Almaty region. High NDVI values are observed in mountainous and foothill areas, while low values dominate in arid and semi-arid zones. The comparison of NDVI data showed an increase in vegetation density in 2020 compared to 2015, followed by a more heterogeneous pattern in 2025, indicating both improvement and degradation processes. **Conclusion.** The results confirm that NDVI is an effective indicator for assessing agricultural land use. The integration of GIS and remote sensing technologies allows for objective monitoring of vegetation dynamics and provides a scientific basis for improving land-use efficiency and sustainable land management.

**Keywords:** geographic information systems (GIS), remote sensing, NDVI, agricultural land use, vegetation dynamics, spatial analysis, land degradation, Almaty region

**For citation:** Ashimkhan N., Rafikov T., Igembaeva A., Zhildikbayeva A. (2026). Analysis of the system of effective use of agricultural land in Almaty region based on geoinformation technology // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 157–167. <https://doi.org/10.37884/4-2026/12> [In Eng.]

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

**Funding:** This research was carried out within the framework of academic and scientific activities of the Kazakh National Agrarian Research University.

**Н.М. Әшімхан<sup>1</sup>, А.К. Игембаева<sup>2</sup>, А.Н. Жилдикбаева<sup>1\*</sup>, Р. Пузиене<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті КеАҚ, Алматы, Қазақстан;

<sup>2</sup>Нұр-Мұбарак Египет ислам мәдениеті университеті, Алматы, Қазақстан;

<sup>3</sup>Витаутас Магнус университеті, Каунас, Литва.

E-mail: a.zhildikbaeva@mail.ru

## ГЕОАҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯ НЕГІЗІНДЕ АЛМАТЫ ОБЛЫСЫНДАҒЫ АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ ЖЕРЛЕРІН ТИІМДІ ПАЙДАЛАНУ ЖҮЙЕСІН ТАЛДАУ

**Әшімхан Назерке Меркібайқызы**, докторант, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, 050010, Абай даңғ., 8, Алматы, Қазақстан

E-mail: ashimkhan\_nazerke@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3345-3375>;

**Игембаева Айнура Қанатқызы**, доктор PhD, қауымдастырылған профессор, Нұр-Мұбарак Египет ислам мәдениеті университеті, 050060, Өл-Фараби даңғ., 73, Алматы, Қазақстан

E-mail: a555\_muslima@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-6656-2270>;

**Жилдикбаева Айжан Наскеновна**, Ph.D, «Жер ресурстары және кадастр» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, 050010, Абай даңғ., 8, Алматы, Қазақстан

E-mail: a.zhildikbaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3556-651X>;

**Рута Пузиене**, т.ғ.д., «Жерді пайдалануды жоспарлау және геоматика» кафедрасының ассоц. профессоры, Витаутас Магнус университеті, Каунас, Литва

E-mail: ruta.puziene@vdu.lt, <https://orcid.org/0000-0003-2175-6838>.

**Аннотация.** *Kipicne.* Ауыл шаруашылығы жерлерін тиімді пайдалану ауыл шаруашылығының тұрақты дамуы мен азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етудің негізгі факторларының бірі болып табылады. Антропогендік жүктеменің артуы және климаттың өзгеруі жағдайында жерді пайдаланудың тиімділігін бағалаудың заманауи құралдарына қажеттілік артып отыр. Геоақпараттық технологиялар мен Жерді қашықтықтан зондтау әдістері өсімдік жамылғысын бақылау және жер өнімділігінің кеңістіктік заңдылықтарын талдау үшін сенімді мүмкіндіктер ұсынады. *Материалдар мен әдістер.* Зерттеу 2015, 2020 және 2025 жылдарға арналған спутниктік деректерді (Landsat) және геоақпараттық жүйелерді (GIS) қолдануға негізделген. Өсімдік жамылғысының жағдайы мен жер өнімділігін бағалау үшін қалыпқа келтірілген вегетациялық индекс (NDVI) есептелді. Кеңістіктік талдау ArcGIS Pro бағдарламасында жүргізілді, оның ішінде NDVI карталарын жіктеу және салыстырмалы талдау орындалды. *Нәтижелер және талқылау.* Талдау Алматы облысы аумағында өсімдік жамылғысының айқын кеңістіктік дифференциациясын көрсетті. NDVI жоғары мәндері таулы және тау бөктеріндегі аудандарға тән, ал төмен мәндер құрғақ және жартылай құрғақ аймақтарда байқалады. NDVI көрсеткіштерін салыстыру 2020 жылы 2015 жылмен салыстырғанда өсімдік жамылғысының артуын көрсетті, ал 2025 жылы өсімдік жағдайының әркелкілігі байқалып, жақсару мен деградация үрдістері қатар жүргенін көрсетті. *Қорытынды.* Зерттеу нәтижелері NDVI ауыл шаруашылығы жерлерін бағалаудың тиімді көрсеткіші екенін дәлелдейді. GIS және қашықтықтан зондтау технологияларын біріктіру өсімдік жамылғысының динамикасын объективті бақылауға және жер ресурстарын тиімді әрі тұрақты басқаруға ғылыми негіз қалыптастырады.

**Түйін сөздер:** геоақпараттық жүйелер (GIS), қашықтықтан зондтау, NDVI, ауыл шаруашылығы жерлері, өсімдік динамикасы, кеңістіктік талдау, жердің деградациясы, Алматы облысы

**Дәйексөз үшін:** Әшімхан Н.М., Игембаева А.К., Жилдикбаева А.Н., Пузиене Р. (2026). Геоақпараттық технология негізінде Алматы облысындағы ауылшаруашылық жерлерін тиімді пайдалану жүйесін талдау // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 157–167. <https://doi.org/10.37884/4-2026/12> [In Eng.]

**Мүдделер қақтығысы:** авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

**Қаржыландыру:** зерттеу жұмысы Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университетінің ғылыми және академиялық қызметі аясында орындалды.

**Н.М. Әшімхан<sup>1</sup>, А.К. Игембаева<sup>2</sup>, А.Н. Жилдикбаева<sup>1\*</sup>, Р. Пузиене<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>Египетский университет исламской культуры Нур-Мубарак, Алматы, Казахстан;

<sup>3</sup>Университет Витаутаса Магнуса, Каунас, Литва.

E-mail. a.zhildikbaeva@mail.ru

## **АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ В АЛМАТИНСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Әшімхан Назерке Меркібайқызы**, докторант, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, пр. Абая, 8, Алматы, Казахстан

E-mail: ashimkhan\_nazerke@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3345-3375>;

**Игембаева Айнура Канатовна**, доктор PhD, ассоциированный профессор, Египетский университет исламской культуры Нур-Мубарак, 050060, проспект аль-Фараби, 73, Алматы, Казахстан

E-mail: a555\_muslima@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-6656-2270>;

**Жилдикбаева Айжан Наскеновна**, Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Земельные ресурсы и кадастр», Казахский национальный аграрный исследовательский университет, 050010 пр. Абая, 8, Алматы, Казахстан

E-mail: a.zhildikbaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3556-651X>;

**Рута Пузиене**, доцент кафедры землеустройства и геоматики, профессор, доктор технических наук, Университет Витаутаса Великого, Каунас, Литва

E-mail: ruta.puziene@vdu.lt, <https://orcid.org/0000-0003-2175-6838>.

**Аннотация.** *Введение.* Эффективное использование сельскохозяйственных земель является ключевым фактором обеспечения устойчивого развития сельского хозяйства и продовольственной безопасности. В условиях возрастающей антропогенной нагрузки и климатической изменчивости возрастает необходимость применения современных инструментов для оценки эффективности землепользования. Геоинформационные технологии и дистанционное зондирование Земли предоставляют надёжные методы мониторинга растительного покрова и анализа пространственных закономерностей продуктивности земель. *Материалы и методы.* Данное исследование основано на использовании геоинформационных систем (ГИС) и спутниковых снимков (Landsat) за 2015, 2020 и 2025 годы. Для оценки состояния растительности и продуктивности земель был рассчитан нормализованный вегетационный индекс (NDVI). Пространственный анализ выполнен с использованием ArcGIS Pro, включая классификацию и сравнительный анализ карт NDVI. *Результаты и обсуждение.* Анализ выявил значительную пространственную дифференциацию растительного покрова на территории Алматинской области. Высокие значения NDVI характерны для горных и предгорных районов, тогда как низкие значения преобладают в аридных и полуаридных зонах. Сравнение данных NDVI показало увеличение плотности растительности в 2020 году по сравнению с 2015 годом, а также более неоднородную картину в 2025 году, что свидетельствует о наличии как положительных изменений, так и процессов деградации. *Выводы.* Полученные результаты подтверждают, что NDVI является эффективным индикатором оценки использования сельскохозяйственных земель. Интеграция ГИС и данных дистанционного зондирования обеспечивает объективный мониторинг динамики растительности и формирует научную основу для повышения эффективности землепользования и устойчивого управления земельными ресурсами.

**Ключевые слова:** геоинформационные системы (ГИС), дистанционное зондирование, NDVI, сельскохозяйственные земли, динамика растительности, пространственный анализ, деградация земель, Алматинская область

**Для цитирования:** Әшімхан Н.М., Игембаева А.К., Жилдикбаева А.Н., Пузиене Р. (2026). Анализ системы эффективного использования земель сельскохозяйственного назначения в Алматинской

области на основе геоинформационных технологий // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 157–167. <https://doi.org/10.37884/4-2026/12> [In Eng.]

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование выполнено в рамках научно-образовательной деятельности *Казахского национального аграрного исследовательского университета*.

### Introduction.

In the context of increasing anthropogenic pressure and climate change, the effective use of agricultural land is becoming increasingly relevant. Land resources are a key component of sustainable agricultural development and also ensure food security and regional economic stability [FAO, 2021; Pettorelli et al., 2005:503–510].

This issue is of particular importance under conditions of growing pressure on agroecosystems, which is accompanied by soil cover degradation, declining fertility, and disruption of natural biogeochemical processes. In this regard, there is an increasing need to shift towards scientifically grounded and resource-saving land-use models aimed at long-term sustainability.

Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing technologies are powerful tools that enable comprehensive spatial analysis. Modern geoinformation approaches make it possible to create digital models of territories, take into account the spatial heterogeneity of natural conditions, and identify hidden patterns in the distribution of agricultural resources. This significantly increases the validity of management decisions and contributes to the optimization of land-use structure.

The use of the NDVI index makes it possible to assess the condition of vegetation cover and the efficiency of land use [Dubovyk, 2017: 603–607]. This indicator is widely used in agricultural research as one of the key indicators characterizing ecosystem productivity, since it reflects the intensity of photosynthetic activity of vegetation. Its application in dynamic analysis enables the monitoring of seasonal and interannual changes, the identification of degradation processes, and the assessment of the effectiveness of implemented agrotechnical measures.

Almaty Region is one of the important agricultural regions of Kazakhstan, characterized by diverse natural conditions and significant land-resource potential. The region includes mountainous, foothill, and plain areas, which determine the diversity of land use and agricultural specialization. Favorable climatic conditions in the foothill zones contribute to the development of irrigated agriculture, while dry and semi-arid areas are dominated by pasture lands. Such natural and territorial differentiation determines the need for a differentiated approach to land-resource management, taking into account the specific features of relief, climate, and hydrological conditions.

In addition, the region plays an important role in ensuring food security through the development of crop production, livestock farming, and horticulture. However, the efficiency of land use varies considerably across the territory depending on natural conditions and the level of anthropogenic impact. This creates a need to apply modern geoinformation approaches for spatial analysis and monitoring of land resources. The observed spatial heterogeneity of land-use efficiency indicates the presence of both highly productive and problematic areas, which require the application of modern methods for their monitoring and assessment. In this regard, the use of geoinformation technologies is of particular relevance for the comprehensive analysis of land-resource conditions and the development of recommendations for their rational use.

In order to provide a general description of the study area, the main indicators of land resources and the administrative structure of Almaty Region are presented in Table 1.

Table 1. General Characteristics of Land Resources

| Indicator                 | Value              |
|---------------------------|--------------------|
| Total land area           | 10 509 thousand ha |
| Administrative districts  | 9                  |
| Cities and settlements    | 5–9                |
| Rural settlements         | 368–384            |
| Rural districts           | 126–136            |
| Dominant type of land use | Agricultural land  |

As shown in Table 1, Almaty Region covers approximately 10.5 million hectares and is characterized by a relatively complex administrative structure. The presence of numerous rural settlements and rural districts indicates the predominantly agricultural orientation of the region. Agricultural lands, including arable land and pastures, constitute the dominant category of land use, which emphasizes the importance of their continuous monitoring [Shokparova et al., 2025; Rafikov et al., 2024: 183–191]. Special attention should be paid to the foothill and plain areas, where the intensity of agricultural production reaches its highest level. In these areas, the cultivation of moisture-demanding crops and intensive livestock grazing exert considerable anthropogenic pressure on the soil cover, which may eventually lead to land degradation and deterioration.

The combination of diverse natural conditions and intensive agricultural activity results in spatial variability in land productivity and vegetation cover. This creates a need for objective and spatially accurate assessment methods. In this context, remote sensing data and vegetation indices, particularly NDVI, serve as effective and fundamental tools for analyzing the condition and dynamics of agricultural lands [Ashimkhan et al., 2025: 470–480; Wulder et al., 2012: 2–10]. The use of open multispectral satellite data, such as Landsat and Sentinel missions, makes it possible to obtain up-to-date information with high spatial resolution. The integration of such data into geographic information systems enables the automation of geoprocessing procedures and the identification of hidden patterns in vegetation development over large areas without the need for costly field surveys.

Despite the growing potential of geoinformation technologies, their application for assessing the efficiency of agricultural land use in Almaty Region, particularly in terms of analyzing the spatial dynamics of vegetation cover, remains insufficiently studied [Foley et al., 2005: 570–574]. Existing studies are often fragmented or limited to short time intervals, which does not allow long-term trends to be traced. A comprehensive approach covering a ten-year period is therefore essential for identifying the cumulative effects of climatic fluctuations and changes in land-resource management practices.

In this regard, the object of the study is the system of agricultural land use in Almaty Region, while the subject of the study is the spatial distribution and temporal dynamics of vegetation cover as an indicator of land-use efficiency [Fensholt et al., 2012: 131–147]. This choice is justified by the fact that the condition and density of vegetation cover are among the main objective indicators of the ecological well-being and agro-industrial potential of the region. Vegetation cover represents an integrated reflection of soil fertility, moisture availability, and anthropogenic pressure. Thus, by studying the dynamics of vegetation processes, it is possible to assess not only the productivity of individual fields, but also the resilience of entire agroecosystems to drought, soil erosion, and secondary salinization. This approach minimizes subjective factors in decision-making related to land-resource management and allows decisions to be based on reliable objective data.

The aim of the study is to analyze the efficiency of agricultural land use in Almaty Region based on geoinformation technologies and remote sensing data.

To achieve this aim, the following objectives were set:

- to analyze the natural and geographical conditions of the study area;
- to calculate NDVI and produce NDVI maps for 2015, 2020, and 2025;
- to assess the spatial and temporal changes in vegetation cover.

### Materials and Methods.

The methodological basis of this study is the integrated application of geoinformation technologies, remote sensing data, and spatial analysis methods aimed at assessing the efficiency of agricultural land use in Almaty Region. In particular, the capabilities of modern software packages such as ArcGIS and QGIS are used for the processing and interpretation of multispectral satellite images. The application of automated geoprocessing models makes it possible to significantly accelerate the calculation of vegetation indices and reduce the probability of errors when integrating large-scale spatiotemporal datasets.

The study area is Almaty Region, which is characterized by high natural and geographical diversity and includes mountainous, foothill, and plain territories. The presence of several altitudinal belts contributes to the formation of different microclimatic zones, which in turn determine the specialization of the agricultural sector in different districts, ranging from intensive irrigated farming in the plains to seasonal pasture-based livestock farming in the foothills. Such diversity determines the spatial differentiation of natural conditions, land-use structure, and vegetation cover within the region. Therefore, in order to obtain objective results, a differentiated monitoring approach is required, with strict consideration of local soil types, hydrological regime, and the seasonal dynamics of temperature. The physical and geographical features of the study area

are shown in Figure 1. This cartographic model clearly represents elevation differences, the river network, and the main relief elements, serving as a basic framework for subsequent spatial analysis and geographic referencing of satellite data.

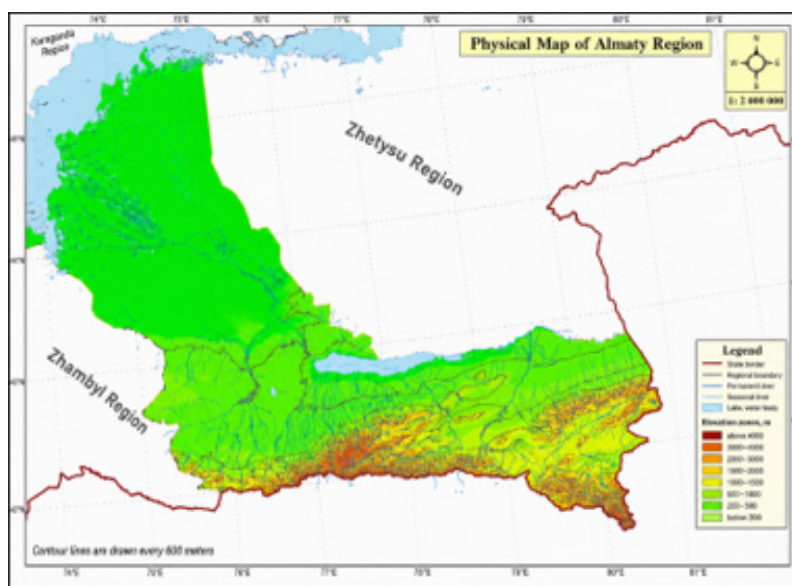


Fig. 1. Physical Map of Almaty Region

The physical map shows the main natural components of the region, including relief, the hydrographic network, and landscape classification. This cartographic model serves as a basic framework for analyzing the spatial heterogeneity of the territory, since slope inclination and aspect directly affect soil moisture and the distribution of solar radiation. The southern part of the region is dominated by the mountainous areas of the Northern Tien Shan, while the central and northern parts are characterized by foothill and plain territories. Such pronounced altitudinal zonation leads to the formation of various microclimatic zones, ranging from high-mountain alpine meadows to foothill forest-steppe areas and semi-desert zones in the north.

This natural diversity determines the specialization of crop distribution and the seasonal use of livestock pastures, including summer pastures, spring pastures, autumn pastures, and winter pastures. The distribution of rivers and water bodies plays an important role in the formation of irrigated agricultural areas and in the characteristics of vegetation cover [Reynolds, 2007: 847–851; Sabljic et al., 2024: 5–9]. In particular, the system of mountain rivers originating from glaciers is considered the only reliable source of stable water supply for croplands during the summer drought period.

In this context, the basins of major water arteries, such as the Ili River, which serve as the main sources of moisture under arid climatic conditions, are of particular importance. By forming a large delta and feeding the Kapshagai Reservoir, the Ili River creates a unique hydrological regime that sustains not only natural tugai forests and reed beds, but also large areas of irrigated agriculture. The condition of these hydrological systems directly determines the boundary between sustainable farming areas and pasture lands in the plain zone.

Any fluctuations in river runoff, whether caused by the melting of mountain glaciers due to global climate change or by the inefficient use of water resources in the upper reaches, are immediately reflected in groundwater levels. This, in turn, leads to changes in vegetation cover, an increased risk of secondary soil salinization, and a decline in the overall bioproductivity of agroecosystems. Therefore, hydrological monitoring is an integral component of a comprehensive assessment of land-use efficiency.

Assessing the condition of such extensive and heterogeneous territories requires the use of modern multispectral satellite systems. Spaceborne sensors record electromagnetic radiation simultaneously in several spectral ranges, or bands, from visible light to thermal infrared. For agricultural and environmental monitoring, the red and near-infrared bands are of particular importance. The red spectrum is actively absorbed by chlorophyll pigments during photosynthesis, whereas near-infrared radiation, on the contrary, is strongly reflected by the loose mesophyll tissue of healthy leaves. It is precisely this physical difference in reflectance between these bands that forms the scientific basis for accurately distinguishing vegetation from bare soil surfaces.

The analysis was based on medium-spatial-resolution satellite images from the Landsat programme,

namely Landsat 7, Landsat 8, and Landsat 9, for the years 2015, 2020, and 2025. This dataset provides consistent and comparable information for long-term monitoring of vegetation-cover dynamics. To avoid seasonal errors, image selection was mainly carried out for the period of peak vegetation activity, July–August, with priority given to cloud-free scenes. The use of Landsat multispectral data archives is justified by their high spectral reliability and open accessibility, which are particularly important for retrospective analysis of territories of this scale.

To assess the condition of vegetation cover, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was calculated. This index is widely used to determine vegetation density and land productivity [Tucker, 1979: 129–131]. NDVI is a key biophysical parameter that indirectly characterizes the photosynthetic activity of vegetation. It has a strong correlation with total above-ground biomass, leaf area index (LAI), and the potential productivity of agricultural crops.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)},$$

where NIR denotes the near-infrared spectral range, and RED denotes the red spectral range. The physical meaning of this formula is based on the optical properties of plant cells: chlorophyll pigments in leaves actively absorb visible red radiation (RED) during photosynthesis, while the internal structure of the leaf, particularly the spongy mesophyll, strongly reflects near-infrared radiation (NIR). The greater the difference between these two indicators, the greater the amount of active green biomass in the studied area. NDVI values always vary within the mathematical range from -1 to +1. For bare soil or highly degraded pastures with sparse vegetation, this indicator usually ranges from 0.1 to 0.2, whereas dense and healthy croplands show values above 0.6. Negative values are generally characteristic of water bodies, snow cover, or clouds. Thus, the calculation of this index makes it possible to automatically classify land-cover types, accurately identify drought-affected areas, and provide an objective quantitative assessment of the ecological condition of agricultural lands.

The physical meaning of this index is based on the ability of chlorophyll in plant leaves to actively absorb red radiation during photosynthesis, while the cellular structure of the leaf strongly reflects near-infrared radiation. The higher the difference between these two indicators, the greater the amount of active green biomass in the studied area.

Pre-processing of satellite images included radiometric and geometric corrections, as well as reprojection into a unified coordinate system to ensure the spatial consistency of the data. The obtained NDVI maps were classified into value ranges corresponding to different levels of vegetation-cover density, from low values representing dry areas with sparse vegetation to high values representing dense vegetation and intensively used agricultural lands [D’Acunto et al., 2024: 14–18]. One of the important stages was atmospheric correction, which reduces the effect of light scattering and minimizes distortions in the spectral values of pixels. The threshold intervals used during classification made it possible to clearly distinguish bare soils and degraded areas from healthy croplands.

Spatial analysis and cartographic visualization were carried out using ArcGIS Pro software. The analysis included overlay operations, classification, and interpretation of the spatial distribution patterns of vegetation cover. To improve the accuracy of spatial analysis, additional vector layers containing administrative boundaries and the hydrographic network were used. ModelBuilder visual programming tools and the ArcPy library in Python were applied to automate repetitive processes involved in the processing of multi-year raster datasets. This made it possible to create a unified model for batch processing of satellite images and to reduce the probability of errors during calculations.

A comparative analysis of NDVI maps for 2015, 2020, and 2025 was conducted to identify spatial and temporal changes in vegetation cover. This approach made it possible to assess trends in agricultural land use and to determine areas where vegetation productivity was increasing or decreasing [Zhu, Woodcock, 2014: 158–162]. The identification of degradation hotspots, as well as areas showing positive vegetation dynamics, forms an objective evidence base for the obtained results. The resulting spatial data can be used to adjust crop rotation plans and to design targeted land reclamation measures in the most vulnerable areas.

## Results and Discussion.

To assess the spatial and temporal dynamics of vegetation cover in Almaty Region, a large-scale analysis of satellite images for 2015, 2020, and 2025 was carried out. The selected ten-year interval, with a five-year step, makes it possible to objectively identify both short-term seasonal fluctuations and long-term trends associated with macroclimatic changes and systemic transformations in the agricultural sector. The analysis was based on the calculation and interpretation of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), which is a reliable indicator of vegetation condition and land-use intensity [Tucker, 1979: 129–131]. This quantitative indicator responds sensitively not only to the total amount of above-ground biomass, but also to stress conditions such as moisture deficit, salinization, or declining soil fertility.

The use of multi-year satellite data made it possible to identify patterns of vegetation-cover change and assess differences in land productivity within the study area. The integration of the obtained raster data into a unified geoinformation database enabled automated pixel-level comparison of images from different years and eliminated the subjective factor. Particular attention was paid to comparing NDVI values across different natural zones, including mountainous, foothill, and plain areas. Such zoning is particularly important for the correct interpretation of results, since the natural background values of vegetation cover in mountain forest areas and plain dry steppe pastures differ fundamentally. These areas clearly differ from one another in terms of climatic conditions and the level of anthropogenic impact [Zhumataeva et al., 2024: 360–369]. For example, in the foothill zone, the main ecological risks are often associated with uncontrolled livestock grazing and water erosion, whereas in the plains the main threat is secondary salinization of intensively irrigated croplands.

The conducted analysis revealed pronounced spatial heterogeneity of vegetation cover in the region. This clear heterogeneity demonstrates that the application of uniform management approaches across the entire region is ineffective and confirms the need for adaptive, locally oriented strategies in land-resource management. High NDVI values are generally observed in mountainous and foothill areas with better moisture availability, while low values prevail in the dry and semi-arid territories of the northern and western parts of the region [D'Acunto et al., 2024: 14–18]. These arid areas require continuous monitoring, as their ecological stability is low and they are the most vulnerable to desertification processes under irrational economic pressure.

The results of the NDVI analysis for 2015 are presented in Figure 2, which shows the initial distribution of vegetation cover in Almaty Region. This cartographic visualization is considered a baseline spatial reference for comparison with data from subsequent years, namely 2020 and 2025, in order to calculate the areas of degraded agricultural lands or, conversely, areas that have undergone vegetation recovery.

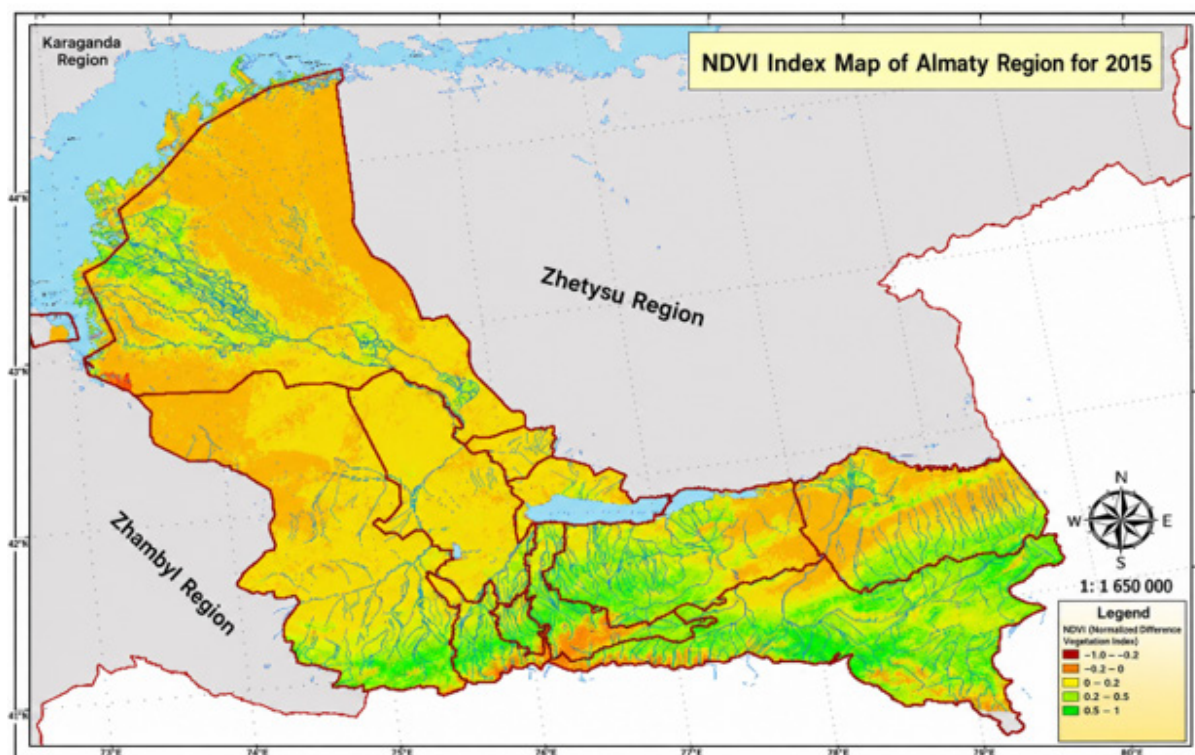


Fig. 2. NDVI Index Map of Almaty Region for 2015

Figure 2 presents the distribution of NDVI values for 2015, which characterizes the initial condition

of vegetation cover in Almaty Region. The spatial pattern demonstrates a clear differentiation of vegetation density depending on natural conditions. High NDVI values are concentrated in the southern mountainous and foothill areas, where favorable climatic conditions, such as higher precipitation and lower evaporation, contribute to the formation of dense vegetation cover. These areas include forest stands, as well as highly productive subalpine and alpine meadows used as summer pastures. The consistently high vegetation values within this altitudinal belt indicate significant natural-resource potential; however, this ecosystem requires strict regulation of grazing pressure in order to prevent erosion processes.

In contrast, the central and especially northern parts of the region are characterized by low NDVI values, indicating sparse vegetation cover typical of dry and semi-arid areas. In these territories, vegetation is mainly concentrated along river valleys and irrigated agricultural lands, forming linear structures associated with the hydrographic network. This oasis-type pattern of vegetation distribution clearly demonstrates that the agro-industrial complex of the plain zone is highly dependent on the functioning of irrigation canals and the runoff volume of transboundary and internal rivers, such as the Ili River basin. Any shortage of water resources during the vegetation period is immediately reflected in satellite imagery as a sharp local decrease in NDVI values.

The observed distribution clearly indicates the dependence of vegetation cover on relief and moisture availability. These factors are the main determinants that directly affect the productivity of agricultural lands in the region. The identified spatial heterogeneity justifies the need to move away from generalized assessments towards a site-specific approach to cadastral land accounting, in which the economic efficiency of land plots should be calculated with mandatory consideration of the limiting environmental factors of each microlandscape.

In addition, the 2015 NDVI map serves as a baseline indicator for further analysis of vegetation-cover dynamics. Comparison with subsequent years makes it possible to identify changes in vegetation cover associated with climatic changes and land-use practices. The selection of 2015 as a reference point is methodologically justified, since this approach allows the systematic assessment of the effects of global climatic cycles and transformations in the structure of croplands observed in the region over the last decade.

In order to assess these changes, NDVI maps for 2020 and 2025 were analyzed and are presented in Figure 3.

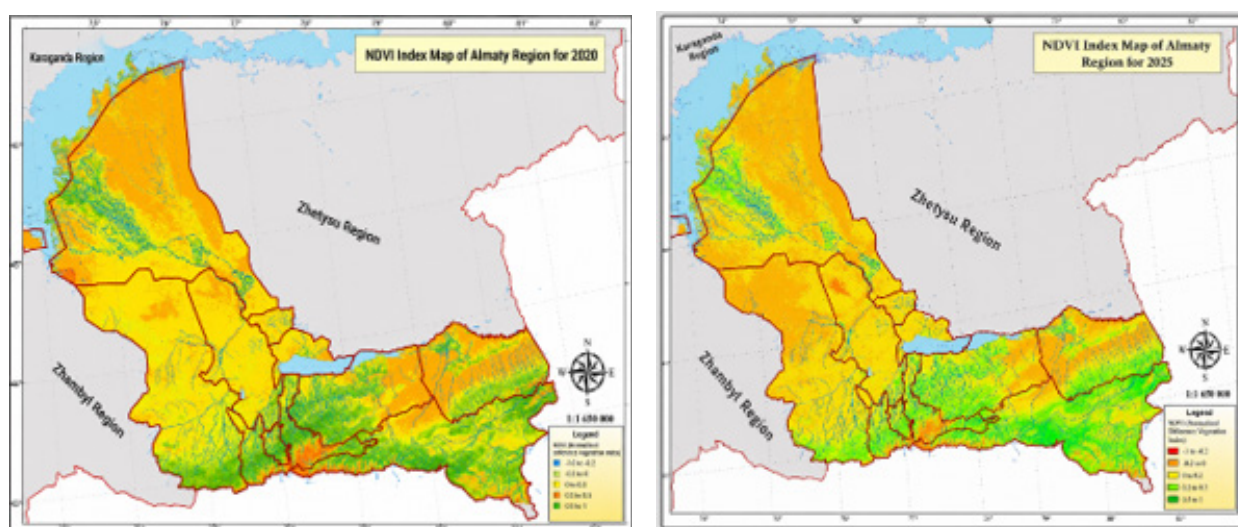


Fig. 3. NDVI Index Map of Almaty Region for 2020 and 2025

The cartographic schemes presented in Figure 3 make it possible to identify not only the general pattern of biomass distribution, but also specific areas with anomalous deviations in vegetation index values.

A comparative analysis of the NDVI maps for 2015, 2020, and 2025 revealed significant spatial and temporal variability of vegetation cover in Almaty Region. To quantify this variability, the map algebra method was applied in the GIS environment, enabling the calculation of differences in pixel values between the studied years and the classification of territories according to the degree of change. The results confirm that vegetation dynamics are closely related to natural conditions, particularly relief, moisture availability, and climatic changes. In particular, interannual fluctuations in temperature regime and the uneven spatial distribution of spring and summer precipitation are among the key factors determining the productivity of

rainfed agricultural lands in the region.

In 2020, an increase in NDVI values compared with 2015 indicates an improvement in vegetation cover, which may be associated with favorable climatic conditions and the expansion of irrigated agricultural areas. Mathematical and statistical analysis shows that the histogram of index distribution shifted towards higher values across a considerable part of croplands. However, the data for 2025 reveal a more uneven pattern, characterized by the simultaneous presence of both positive and negative changes in vegetation cover. At the same time, some of the positive trends during this period may be explained by the introduction of water-saving technologies, modernization of irrigation infrastructure, and optimization of crop rotation systems in a number of farms.

The decrease in NDVI values in the northern and western parts of the region indicates the intensification of land degradation processes and increasing aridity. This mosaic pattern reflects growing climatic instability and a differentiated increase in anthropogenic pressure on vulnerable ecosystems. In these areas, a pronounced thinning of the grass cover is observed, which creates a direct risk of wind erosion and accelerated desertification processes. Therefore, urgent revision of grazing norms and the implementation of phytomeliorative measures are required in these territories.

At the same time, consistently high NDVI values in mountainous and foothill areas throughout the study period indicate their ecological stability and high biological productivity. The complex relief structure and thick snow cover during the winter period form a specific hydrological buffer that mitigates the destructive effects of summer drought in these areas. This highlights the important role of natural and landscape conditions in the effective use of agricultural lands. Accordingly, the strategy for the development of the agro-industrial complex should be based on the principles of landscape-adaptive agriculture, which specifies the agricultural specialization of each territory in accordance with its bioclimatic potential.

Overall, the obtained results demonstrate that the NDVI index is an effective tool for assessing the condition of vegetation cover and identifying spatial patterns of land-use efficiency. The integration of remote sensing data and geoinformation technologies forms a reliable basis for monitoring agricultural lands and ensuring sustainable land-resource management. Based on such studies, the creation of a centralized specialized geoportal would allow automated collection of spatial data and provide government authorities with an effective analytical tool for making scientifically grounded management decisions.

### **Conclusion.**

The conducted study demonstrated the effectiveness of using geoinformation technologies and remote sensing data for assessing agricultural lands in Almaty Region. Traditional methods of ground-based land inventory and agrochemical surveys often require considerable time and financial resources and, at the same time, do not allow such large territories to be covered with the necessary frequency. In this context, satellite monitoring can be regarded as an indispensable tool for collecting primary spatial data.

The application of the NDVI index based on multitemporal satellite images made it possible to identify spatial patterns and temporal dynamics of vegetation cover. Due to the high spectral sensitivity of multispectral sensors to chlorophyll content in biomass, it became possible not only to assess the current condition of croplands, but also to reconstruct a retrospective picture of agroecosystem development. This indicator is an important measure of land productivity and land-use efficiency, as it is directly related to crop yields and the volume of forage resources in pasture lands.

The research results revealed a pronounced spatial differentiation of vegetation cover across the region. This differentiation is explained by the complex geomorphological structure of the territory, where elevation differences form a clearly expressed zonal pattern, ranging from the nival-glacial zone of the Tien Shan Mountains to the semi-desert plains near Lake Balkhash. High NDVI values are associated with mountainous and foothill areas with favorable natural conditions, whereas low values prevail in the dry and semi-arid zones of the northern and western parts of the region. In the plain zone, productive biomass is formed mainly along transit river valleys and in areas equipped with engineering irrigation systems, creating specific agro-industrial oases. These patterns indicate that the use of agricultural lands depends on relief, climatic conditions, and the level of water-resource availability. Accordingly, agricultural planning strategies should strictly take into account the limiting environmental factors of each specific microlandscape, while extensive expansion of agricultural land should be avoided in high-risk farming areas.

Comparison of NDVI maps for 2015, 2020, and 2025 showed that the dynamics of vegetation cover are variable in nature. This variability is associated with the influence of global climatic processes on the

moisture regime and with the transformation of management approaches in the agro-industrial complex. The increase in vegetation cover in 2020 may indicate an improvement in ecological conditions or higher land-use efficiency, whereas the uneven pattern observed in 2025 reflects the simultaneous occurrence of positive trends and degradation processes. One of these degradation phenomena is pasture degradation, or pasture digression, which refers to trampling and destruction of grass cover as a result of excessive livestock grazing, especially near rural settlements. The decrease in NDVI values in some districts indicates increasing drought conditions and growing anthropogenic pressure on land resources. In addition, secondary salinization hotspots and humus loss are observed in irrigated areas, which highlights the need to develop intra-farm land management projects and introduce adaptive-landscape farming systems.

The obtained results confirm that the NDVI index is a reliable and informative indicator for monitoring vegetation cover and assessing the efficiency of agricultural land use. The mathematical formalization of this index makes it possible to transform qualitative visual assessments into precise quantitative parameters suitable for statistical modeling and forecasting. The integration of geographic information systems and remote sensing technologies enables objective analysis with high spatial accuracy and supports scientifically grounded decision-making in land-resource management. The transition from one-time assessment to continuous monitoring requires the creation of specialized sectoral geoportals with centralized databases. The use of automated scripts for batch processing of raster data reduces the influence of the human factor and makes it possible to provide government authorities with operational analytics for adjusting cadastral land values and allocating agricultural subsidies.

Overall, the proposed approach can be applied to the systematic monitoring of agricultural lands and may serve as a methodological basis for improving the system of rational land use at both regional and national levels. The structural and functional model tested within the framework of this study has a high potential for scalability. In the future, the developed geoprocessing algorithms may be successfully implemented in other agro-industrial regions facing similar problems and may contribute to the formation of a unified national digital ecosystem for monitoring the condition of land resources under global climate change.

## REFERENCES

- FAO. (2021). The state of the world's land and water resources for food and agriculture – Systems at breaking point (SOLAW 2021). Rome: FAO. <https://doi.org/10.4060/cb7654en>
- D'Acunto F., Marinello F. & Pezzuolo A. (2024). Rural land degradation assessment through remote sensing: Current technologies, models, and applications. *Remote Sensing*. 16(16). 3059. <https://doi.org/10.3390/rs16163059>
- Dubovyk O. (2017). The role of remote sensing in land degradation assessments: Opportunities and challenges // *European Journal of Remote Sensing*. 50(1). 601–613. <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1378926>
- Reynolds J.F. (2007). Global desertification: Building a science for dryland development. *Science*. 316(5826). 847–851. <https://doi.org/10.1126/science.1131634>
- Sabljić L., Lukić T., Bajić D., Marković S.B. & Delić D. (2024). Application of remote sensing in monitoring land degradation: A case study of Stanari municipality. *Open Geosciences*. 16(1). <https://doi.org/10.1515/geo-2022-0671>
- Foley J.A., DeFries R., Asner G.P., et al. (2005). Global consequences of land use. *Science*. 309(5734). 570–574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Shokparova D.K., Sirazhitdinova M., Bissenbayeva S.B. & Patel N. (2025). Remote sensing and GIS-based land assessment in Zhanaarka region of Ulytau oblast, Kazakhstan. *Frontiers in Environmental Science*. 13. 1516460. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1516460>
- Pettorelli N., Vik J.O., Mysterud A., Gaillard, J.M., Tucker C.J. & Stenseth N.C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*. 20(9). 503–510. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.011>
- Wulder M.A., Masek J.G., Cohen W.B., Loveland T.R. & Woodcock C.E. (2012). Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat. *Remote Sensing of Environment*. 122. 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.01.010>
- Fensholt R. & Proud S.R. (2012). Evaluation of Earth observation based global long term vegetation trends — Comparing GIMMS and MODIS global NDVI time series. *Remote Sensing of Environment*. 119. 131–147. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.12.015>
- Rafikov T., Yerbolkyzy M. & Zhildikbayeva A. (2024). Application of remote sensing data and NDVI analysis in the East Kazakhstan region // *Izdenister Natigeler*. 1(101). 183–191. <https://doi.org/10.37884/1-2024/18> (in Russian)
- Tucker C.J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*. 8(2). 127–150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- Zhu Z. & Woodcock C.E. (2014). Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. *Remote Sensing of Environment*. 144. 152–171. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.01.011>
- Zhumataeva Z., Serikbaeva G., Turganaliyev S., Mukaliyev Z. & Rafikov T. (2024). Increasing ecological and economic efficiency of land use // *Izdenister Natigeler*. 2(102). 360–369. <https://doi.org/10.37884/2-2024/35>
- Ashimkhan N., Rafikov T., Zhildikbayeva A., Mukaliyev Zh., Doktyrbek A. & Pentayev T. (2025). Application of geographic databases for the development of geoportals in Kazakhstan // *Izdenister Natigeler*. 4(108). 470–480. <https://doi.org/10.37884/4-2025/48>

**Ashimkhan Nazerke** — conceptualization, methodological design, and validation of the results.

**Igembayeva Ainur** — software implementation, methodological contribution, and data visualization.

**Zhildikbayeva Aizhan** — investigation, formal data analysis, and project coordination.

**Ruta Puziene** — manuscript preparation, provision of resources, and methodological support.



*A.M. Yermenbay, A.Zh. Zhakibaeva\*, G.E. Tukeshova, A.M. Jabassov, A.K. Alimgazina*

LLP «Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M.Ahmedsafin», Almaty, Kazakhstan.

E-mail: zhakibaeva8@gmail.com

## JUSTIFICATION FOR THE CREATION OF LARGE UNDERGROUND RESERVOIRS IN CENTRAL KAZAKHSTAN USING MANAGED AQUIFER RECHARGE

**Yermenbay Arai Musakyzy**, researcher of the laboratory of groundwater resources, LLP «Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Akhmedsafin», Kazakhstan, 050010, Almaty, st. Valikhanova, 94

E-mail: ms.ermenbay@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1751-0280>;

**Zhakibaeva Aigerim Zhanatovna**, Master of Natural Sciences, Junior Researcher of the Laboratory of Groundwater Resources, LLP «Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Akhmedsafin», Kazakhstan, 050010, Almaty, st. Valikhanova, 94

E-mail: zhakibaeva8@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0226-120x>;

**Tukeshova Gulziza Esirkepovna**, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Groundwater Resources, LLP «Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Ahmedsafin», Kazakhstan, 050010, Almaty, ul. Valikhanova, 94

E-mail: tgulziza@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-2555-1568>;

**Jabassov Abai Maratovich**, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Laboratory of Groundwater Resources, LLP «Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Akhmedsafin», Kazakhstan, 050010, Almaty, st. Valikhanova, 94

E-mail: jabassov.abai@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9660-2054>;

**Alimgazina Aigerim Krymdzhankyzy**, Master of Natural Sciences, Researcher of the Laboratory of Groundwater Resources, LLP «Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Akhmedsafin», Kazakhstan, 050010, Almaty, st. Valikhanova, 94

E-mail: krymdjanovna@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-9966-5549>.

**Abstract.** The increasing water shortage caused by climate change, rising water consumption, and uneven distribution of surface runoff necessitates the implementation of effective groundwater management methods in arid regions. For Central Kazakhstan, characterized by a sharply continental climate, a limited river network, and high seasonal runoff variability, Managed Aquifer Recharge (MAR) technologies are one of the most promising approaches. The objective is to substantiate standard MAR technological schemes considering the region's physiographic, hydrogeological, and hydrological conditions. A regional zoning assessment was conducted based on a set of criteria, resulting in the identification of four groups of areas: areas suitable for the development of large, medium, and small groundwater reservoirs, as well as areas considered unsuitable for MAR implementation. River valleys, buried valleys, and carbonate structures were identified as the most promising settings for MAR. It was established that up to 80–90 % of the annual river runoff occurs during the spring period, providing a substantial seasonal water resource for aquifer recharge. Infiltration basins were identified as the primary technology for shallow unconfined aquifers, while infiltration wells and recharge wells were recommended for deeper and fractured-karst aquifers. The MAR technological schemes developed in the study, including both open and closed systems, allow engineering solutions to be adapted to specific natural conditions. The use of infiltration basins, regulated water-intake structures, and recharge wells can

not only increase groundwater reserves but also provide effective control over groundwater levels and flow regimes.

**Keywords:** Groundwater, artificial recharge, aquifers, technological schemes, Central Kazakhstan, hydrogeology, water demand

**For citation:** Ermenbay A.M., Zhakibayeva A.Zh., Tukeshov G.E., Dzhabasov A.M., Alimgazina A.K. (2026). Justification for the creation of large underground reservoirs in Central Kazakhstan using artificial replenishment methods // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 168–178. <https://doi.org/10.37884/4-2026/13> [In Eng.]

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

**Funding.** *The study was carried out within the framework of grant funding for scientific and (or) scientific-technical projects for 2024–2026 (Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan) No. AP23490816 «Development of technologies for artificial replenishment of groundwater for water supply of settlements, industrial enterprises and irrigation of pastures in small-hill areas of Central Kazakhstan, Republic of Kazakhstan».*

**А.М. Ерменбай, А.Ж. Жакибаева\*, Г.Е. Тукешова, А.М. Джабасов, А.К. Әлімгазина**  
«У.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы,  
Қазақстан.  
E-mail: zhakibaeva8@gmail.com

## ОРТАЛЫҚ ҚАЗАҚСТАНДА ЖАСАНДЫ ТОЛЫҚТЫРУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ІРІ ЖЕР АСТЫ СУ ҚОЙМАЛАРЫН ҚҰРУДЫҢ НЕГІЗДЕМЕСІ

**Ерменбай Арай Мұсақызы**, «Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС жер асты сулары ресурстары зертханасының ғылыми қызметкері, Қазақстан, 050010, Алматы, көшесі Уәлиханова, 94

E-mail: ms.ermenbay@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1751-0280>;

**Жакибаева Айгерим Жанатовна**, жаратылыстану ғылымдарының магистрі, «Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС жер асты сулары ресурстары зертханасының кіші ғылыми қызметкері, Қазақстан, 050010, Алматы, Уәлиханова көшесі, 94

E-mail: zhakibaeva8@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0226-120x>;

**Тукешова Гүлзиза Есіркеповна**, геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, «Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС жер асты сулары ресурстары зертханасының аға ғылыми қызметкері, Қазақстан, 050010, Алматы, ул. Уәлиханова, 94

E-mail: tgulziza@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-2555-1568>;

**Джабасов Абай Маратұлы**, геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, «Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС жер асты сулары ресурстары зертханасының меңгерушісі, Қазақстан, 050010, Алматы, Уәлиханова көшесі, 94

E-mail: jabassov.abai@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9660-2054>;

**Алимгазина Айгерим Крымджанқызы**, жаратылыстану ғылымдарының магистрі, «Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС жер асты сулары ресурстары зертханасының ғылыми қызметкері, Қазақстан, 050010, Алматы, көшесі Уәлиханова, 94

E-mail: krymdjanovna@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-9966-5549>.

**Аннотация.** Климаттың өзгеруінен, су тұтынудың артуынан және жер үсті ағынының біркелкі таралмауынан туындаған су ресурстарының тапшылығының артуы құрғақ аймақтарда жер асты суларын басқарудың тиімді әдістерін енгізуді қажет етеді. Қатты континенталды климатпен, өзен желісінің шектеулілігімен және ағынның жоғары маусымдық өзгергіштігімен сипатталатын Орталық Қазақстан үшін жер асты суларын жасанды түрде толтыру (ЖСЖТ) ең перспективалы тәсілдердің бірі болып табылады. Бұл зерттеудің мақсаты – аймақтың физикалық, географиялық, гидрогеологиялық және гидрологиялық жағдайларын ескере отырып, ЖСЖТ-ның типтік процесінің схемаларын негіздеу. Аумақ төрт топты анықтай отырып, бірқатар критерийлер бойынша аймақтарға бөлінді: ірі, орта және шағын жер асты су қоймаларын құруға арналған аумақтар, сондай-ақ перспективасыз аумақтар. Өзен аңғар-

лары, көмілген аңғарлар және карбонатты құрылымдар ең перспективалы деп танылды. Жылдық өзен ағынының 80-90%-ға дейіні көктемде пайда болатыны, бұл толықтыру үшін айтарлықтай маусымдық ресурс жасайтыны анықталды. Инфильтрациялық бассейндер ашық шектеусіз сулы горизонттар үшін негізгі технология ретінде негізделген, ал инфильтрациялық ұңғымалар мен сіңіру ұңғымалары терең және жарықшақты карст сулы горизонттары үшін қолданылады. Зерттеу аясында әзірленген ашық және жабық жер асты суларын жасанды түрде толтырудың технологиялық схемалары инженерлік шешімдерді нақты табиғи жағдайларға икемді бейімдеуге мүмкіндік береді. Инфильтрациялық бассейндерді, реттелетін су қабылдау құрылымдарын және сіңіру ұңғымаларын пайдалану жер асты суларының қорын арттырып қана қоймай, олардың режимін де басқарады.

**Түйін сөздер:** жер асты сулары, жасанды қайта толтыру, сулы қабаттар, технологиялық схемалар, Орталық Қазақстан, гидрогеология, суға деген сұраныс

**Дәйексөз үшін:** Ерменбай А.М., Жакибаева А.Ж., Тукешов Г.Е., Жабасов А.М., Әлімғазина А.К. (2026). Орталық Қазақстанда жасанды толықтыру әдістерін қолдана отырып, ірі жер асты су қоймаларын құрудың негіздемесі // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 168–178. <https://doi.org/10.37884/4-2026/13> [In Eng.]

**Мүдделер қақтығысы:** авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

*А.М. Ерменбай, А.Ж. Жакибаева\*, Г.Е. Тукешова, А.М. Джабасов, А.К. Алимгазина*  
ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан.  
E-mail: zhakibaeva8@gmail.com

## ОБОСНОВАНИЕ СОЗДАНИЯ КРУПНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ В ЦЕНТРАЛЬНОМ КАЗАХСТАНЕ МЕТОДАМИ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПОЛНЕНИЯ ЗАПАСОВ

**Ерменбай Арай Мусакызы**, научный сотрудник лаборатории ресурсов подземных вод, ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахмедсафина», Казахстан, 050010, Алматы, ул. Валиханова, 94

E-mail: ms.ermenbay@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1751-0280>;

**Жакибаева Айгерим Жанатовна**, магистр естественных наук, младший научный сотрудник лаборатории ресурсов подземных вод, ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахмедсафина», Казахстан, 050010, Алматы, ул. Валиханова, 94

E-mail: zhakibaeva8@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0226-120x>;

**Тукешова Гүлзиза Есиркеповна**, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории ресурсов подземных вод, ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахмедсафина», Казахстан, 050010, Алматы, ул. Валиханова, 94

E-mail: tgulziza@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-2555-1568>;

**Джабасов Абай Маратович**, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией ресурсов подземных вод, ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахмедсафина», Казахстан, 050010, Алматы, ул. Валиханова, 94

E-mail: jabassov.abai@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9660-2054>;

**Алимгазина Айгерим Крымджанқызы**, магистр естественных наук, научный сотрудник лаборатории ресурсов подземных вод, ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахмедсафина», Казахстан, 050010, Алматы, ул. Валиханова, 94

E-mail: krymdjanovna@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-9966-5549>.

**Аннотация.** Всё более прогрессирующий дефицит водных ресурсов, обусловленный изменением климата, ростом водопотребления населения и неравномерным распределением поверхностного стока, обуславливает необходимость внедрения эффективных методов управления подземными водами в аридных регионах. Для Центрального Казахстана, характеризующегося резко континентальным климатом, ограниченной речной сетью и высокой сезонной изменчивостью стока, одним из наиболее перспективных направлений является искусственное восполнение запасов подземных вод (ИВЗПВ). Цель исследования – обоснование типовых технологических схем ИВЗПВ с учетом физико-географических, гидрогеологических и гидрологических условий региона. Проведено районирование террито-

рии по комплексу критериев, в результате которого выделены четыре группы: районы создания крупных, средних и мелких подземных водохранилищ, а также бесперспективные территории. Наиболее перспективными установлены долины рек, а также погребенные долины и карбонатные структуры. Установлено, что до 80–90 % годового речного стока формируется в весенний период, что создает значительный сезонный ресурс для пополнения. В качестве основной технологии для открытых безнапорных горизонтов обоснованы инфильтрационные бассейны, а для глубоких и трещинно-карстовых горизонтов – инфильтрационные колодцы и поглощающие скважины. Разработанные в рамках исследования технологические схемы искусственного восполнения запасов подземных вод как открытого, так и закрытого типов – позволяют гибко адаптировать инженерные решения к конкретным природным условиям. Использование инфильтрационных бассейнов, регулируемых водоприёмных сооружений и поглощающих скважин обеспечивает не только увеличение запасов подземных вод, но и управление их режимом.

**Ключевые слова:** подземные воды, искусственное восполнение, водоносные горизонты, технологические схемы, Центральный Казахстан, гидрогеология, водопотребность

**Для цитирования:** Ерменбай А.М., Жакибаева А.Ж., Тукешова Г.Е., Джабасов А.М., Алимгазина А.К. (2026). Обоснование создания крупных подземных водохранилищ в Центральном Казахстане методами искусственного восполнения запасов // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 168–178. <https://doi.org/10.37884/4-2026/13> [In Eng.]

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Благодарность:** Исследование выполнено в рамках грантового финансирования по научным и (или) научно-техническим проектам на 2024–2026 годы (Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан) № AP23490816 «Разработка технологий искусственного восполнения подземных вод для водообеспечения населённых пунктов, промышленных предприятий и обводнения пастбищ в мелкоопочных районах Центрального Казахстана Республика Казахстан».

## Introduction.

Rational use of groundwater is a key factor in ensuring sustainable water supply and preventing the degradation of natural ecosystems [Zektser et al., 2004]. Managed aquifer recharge (MAR) is considered an effective tool for increasing aquifer resources, regulating filtration processes, and meeting water needs in arid and semi-arid regions [Dillon et al., 2019; Al Maktoumi, 2025].

The effectiveness of MAR is determined by a combination of physical, geographical, and hydrogeological conditions, including the geomorphological structure of the territory, the lithological composition of rocks, the filtration properties of the vadose zone, the groundwater regime, as well as climatic parameters (precipitation, temperature, evaporation), and the characteristics of the hydrographic network [Science of the Total Environment, 2021; Cao et al., 2025; Zhu et al., 2026].

Managed aquifer recharge (MAR) and aquifer storage and recovery (ASR) are widely used in various countries worldwide, including Europe, the United States, Israel, and Australia [Dillon et al., 2019]. The main applications of this technology include ensuring water supply in resource-scarce conditions, creating strategic water reserves, preventing aquifer salinization, and improving water resource management [Al Maktoumi, 2025; Cao et al., 2025]. Surface water, including flood runoff, can be used as recharge sources, which is especially relevant for arid areas [Science of the Total Environment, 2021].

The MAR methods are based on increasing the water inflow into an exploited aquifer throughout the year or during individual seasons. This is achieved through surface water infiltration through special structures (pools, canals, absorption wells, etc.) or by temporarily flooding natural depressions.

This method addresses a number of important issues, primarily in the area of domestic and drinking water supply, and also contributes to environmental improvements. MAR makes it possible to regulate the hydrogeological regime during water withdrawal, taking into account both the quantity and quality of water at the recharge source.

Furthermore, the accumulation of water in the aquifer and the presence of infiltration structures make it possible to shut off the water supply if necessary, for example, if its quality deteriorates (increased turbidity, contamination, odors, etc.), thereby reducing the risk of groundwater contamination.

Storing groundwater during periods of highwater levels increases the reliability of water supply,

especially for alluvial horizons, and helps avoid interruptions in water supply during low-water periods [Margat et al., 2013].

Central Kazakhstan is characterized by a distinctly continental arid climate, complex, low-hill terrain, and a poorly developed river network (Figure 1). The region's rivers have a pronounced seasonal regime, with up to 80–90 % of annual runoff occurring in the spring [Sheik et al., 2025; Nature Scientific Reports, 2024]. Furthermore, the alluvial sediments of river valleys have high filtration capacity, creating productive conditions for groundwater infiltration and accumulation. [Sheik et al, 2025].

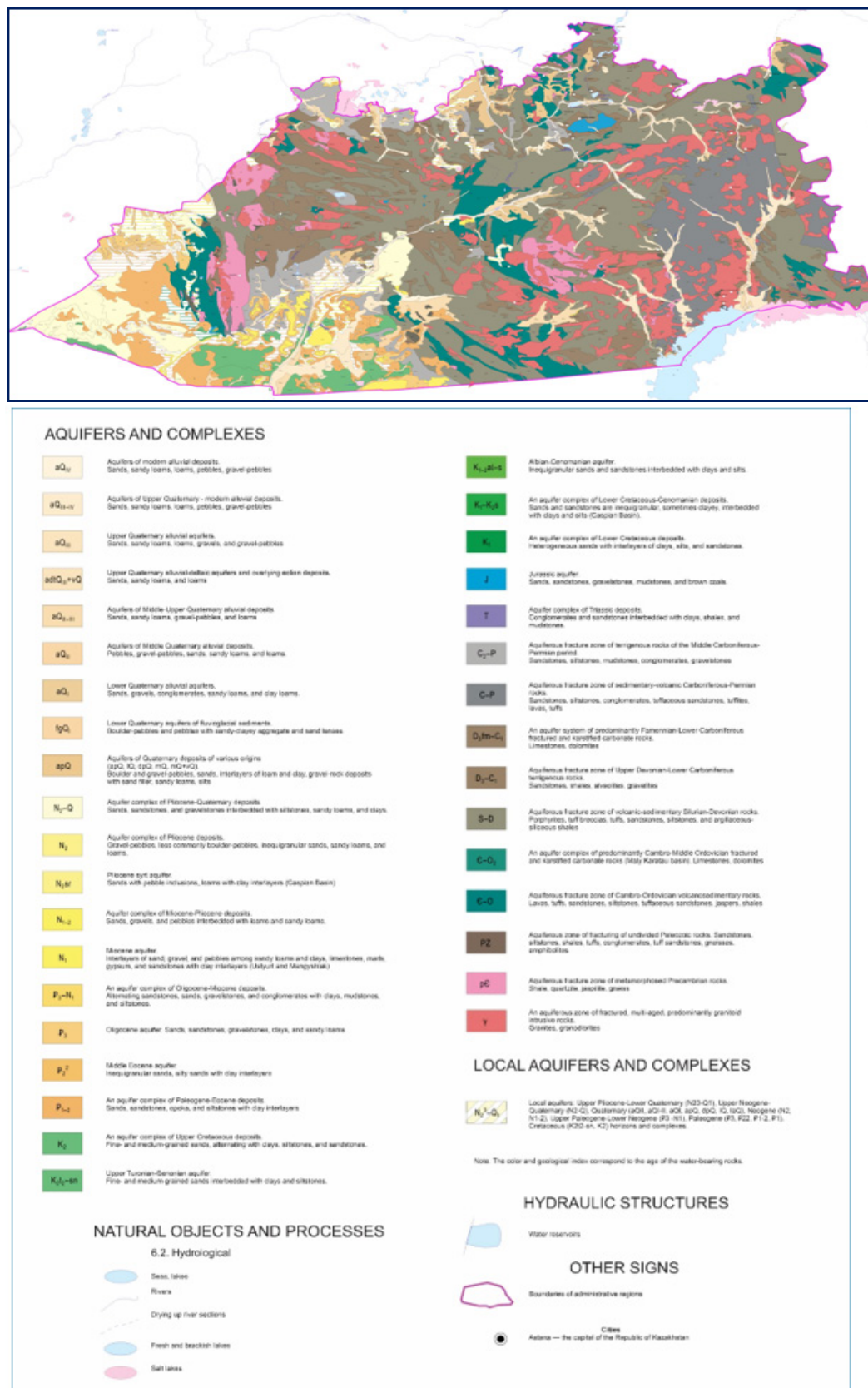


Fig. 1. Hydrogeological map of Central Kazakhstan

The choice of technological schemes for MAR of groundwater reserves is determined by the presence and characteristics of aquifers, the availability of replenishment sources, the current and future needs of the region for water supply, as well as the economic efficiency of the implemented measures [Dillon et al., 2019; Zhu et al., 2026; Science of the Total Environment, 2021]. The use of zoning of the territory according to the conditions of MAR allows us to take into account the spatial heterogeneity of hydrogeological conditions and justify the choice of the most effective solutions for groundwater resource management.

### Materials and methods.

The territory of Central Kazakhstan is a mountainous and folded region within which unconfined fissure waters with shallow circulation are widespread. They are confined to the fractured zone of volcanogenic-sedimentary complexes of pre-Paleozoic and Paleozoic rocks [Barkalov, Khordikainen, 1984].

Fracture-karst waters of Devonian-Carboniferous carbonate rocks are also widespread, forming numerous brachyanticline and synclinal structures [Barkalov, Khordikainen, 1984; gov.kz, 2020]. Each of such structure represents a unique groundwater deposit, containing significant volumes of water resources [Al Maktoumi, 2025; Cao et al., 2025]. Majority of Central Kazakhstan is represented by a mountainous, folded region dominated by shallowly circulating, unconfined fissure waters confined to the open fracture zone of volcanogenic-sedimentary complexes of pre-Paleozoic and Paleozoic rocks, including effusive, intrusive, terrigenous-sedimentary, and metamorphic formations. Good rock exposure facilitates active water exchange and the formation of fresh, slightly brackish, and brackish waters.

Fracture-karst waters of Devonian-Carboniferous carbonate and terrigenous rocks are also widespread, forming numerous small brachyanticline, synclinal, and large complex structures. Each of such structure essentially represents a groundwater deposit with significant reserves, particularly in the southwestern part of the region—the Zhezkazgan-Ulatau, Niyaz-Yerementau, and other districts. The high degree of fracturing and karstification of carbonate rocks ensures intensive absorption of precipitation and floodwaters from rivers and streams; in the Zhezkazgan-Ulatau district, effective precipitation accounts for up to 60% of winter-spring runoff. Furthermore, these aquifers can be replenished by surface water from rivers.

A combination of climatic, topographic, geomorphological, and hydrogeological conditions, including the composition of water-bearing rocks and the presence of large hydrogeological reservoirs, creates favorable conditions for artificial groundwater recharge. This creates large underground reservoirs for multiple purposes: for municipal and industrial water supply of large population centers, as well as for agricultural needs.

Taking into account the region's physical and geographical conditions, including geomorphological, geological, hydrogeological, climatic (precipitation), and hydrological (development of the hydrographic network) factors, a zoning of Central Kazakhstan was conducted based on conditions for MAR. This allows to determine patterns in the hydrogeological environment and serves as the basis for a differentiated assessment of the potential for MAR [Pinekker, 1977]. The zoning methodology is based on taking into account a complex of natural and artificial factors affecting the effectiveness of recharge and is used to identify areas with similar or different conditions for MAR. The assessment of natural conditions during zoning is carried out in order to identify: 1) the recharge object — a natural or artificial collector; 2) recharge sources and methods of preliminary water treatment; 3) the need for artificial recharge; 4) the economic feasibility of artificial recharge of groundwater reserves.

The methodological basis of the study was a comprehensive hydrogeological analysis of the territory, including:

- Analysis of the geological and hydrogeological conditions of the region;
- Study of the lithological composition of water-bearing rocks;
- Filtration properties of rocks (transmissibility coefficients within 300–1000 m<sup>2</sup>/day);
- analysis of the hydrological regime of rivers.

The following criteria were taken into account in the process of zoning:

Availability of natural reservoirs for groundwater accumulation (alluvial valleys, fissure-karst structures);

Availability of replenishment sources (surface water, precipitation, flood runoff from the Nura, Kengir, Sarysu, and other rivers);

Water resource requirements;

Economic feasibility of artificial groundwater replenishment projects

The geomorphological factor was used as the main classification feature for zoning, allowing to

establishes the relationship between relief forms, lithological composition of rocks and groundwater occurrence conditions [Shchukin, 1940; Voskresensky, 1968].

### Results.

Based on the conducted zoning of Central Kazakhstan according to conditions for artificial replenishment of groundwater reserves, four groups of territories were identified that determine the feasibility of creating various types of underground reservoirs, identified in accordance with a set of geomorphological, geological, hydrogeological, and hydrological indicators:

Large underground reservoirs for multiple purposes, the construction of which is possible: a) in the valleys of densely populated and industrially developed rivers in the region, b) in areas with developed carbonate structures;

Medium underground reservoirs – primarily for agricultural purposes, associated with the largest buried valleys;

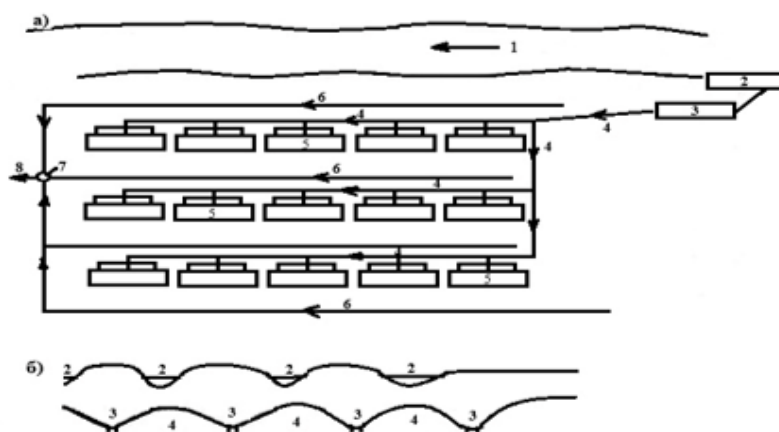
Small underground reservoirs associated with Paleozoic rocks of different ages – for pasture irrigation;

Unpromising areas – territories unsuitable for the construction of groundwater reservoirs, for example, due to geomorphological conditions or the absence of aquifers. A feasibility study was developed for each group of territories, and a standard technological scheme for artificial replenishment of groundwater reserves was proposed.

#### *Areas for the potential creation of large underground reservoirs.*

Large reservoirs are considered a key element of groundwater management, enabling the most efficient use of flood and surface water, regulating filtration processes, and increasing the sustainability of water supply in the arid and semi-arid climate of Central Kazakhstan. This group of areas includes the valleys of the region's largest rivers—the Nura, Sherubai-Nura, Taldy, Zharly, Kengir, Sarysu, and several others. The water-bearing rocks here are modern and Upper Quaternary alluvial deposits, represented by inequigranular sands, sandy-gravel-pebble formations with clay and loam interlayers. The thickness of alluvial deposits is typically 15–30 m, but in some valley sections it can reach 40–50 m. A characteristic feature of these deposits is the absence of a consistent aquiclude between Quaternary formations of different ages, resulting in the formation of a single underground groundwater flow. Groundwater is recharged primarily by the infiltration of river floodwaters. Spring floods play a decisive role in shaping the water balance of river valleys. During this period, up to 80–90 % of the annual runoff passes through river systems.

The most effective technological scheme for this group of regions is an open type I artificial groundwater recharge system using infiltration basins. Key hydrogeological parameters: thickness of 10–30 m, filtration coefficient of 20–140 m/day, transmissibility coefficient of 240–4100 m<sup>2</sup>/day. In this scheme, surface water is directed into special infiltration structures, where it gradually percolates through the alluvial sediments into the aquifer. Similar systems are widely used worldwide and have proven effective in arid climates [Dillon et al., 2019]. The typical scheme involves gravity-fed surface water delivery with a settling basin, infiltration basins, and horizontal water intakes (Figure 2).



a – plan; 1 - river; 2 - water intake from the river; 3 - settling tank; 4 - water conduits for supplying water to infiltration basins; 5 - infiltration basins; 6 - horizontal water intakes (drainage pipes); 7 - collection well with chlorination; 8 - water conduit to the consumer; b – section: 2 - infiltration basins; 3 - drainage pipes; 4 - aquifers.

Fig. 2. Scheme of the open gravity flow system of the MAR, type I

In Central Kazakhstan, a promising area is the use of innovative technical solutions for groundwater regulation, which can be integrated into technological schemes for Managed aquifer recharge (MAR). Among them are the Device for regulating groundwater accumulations (patent RU 2621359, Fig. 3), the Device for regulating freshwater reserves (patent RU 2621268, Fig. 4), the Understream filtering water intake of a combined design (patent RU 2518634, Fig. 5), the Device for purifying highly turbid water (patent RU 2321440, Fig. 6), and the Device for regulating groundwater reserves (patent RU 2244785, Fig. 7).

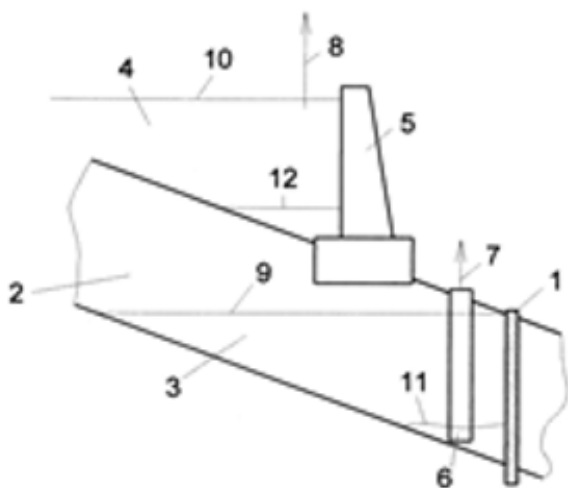


Fig. 3. Device for regulating underground water accumulation

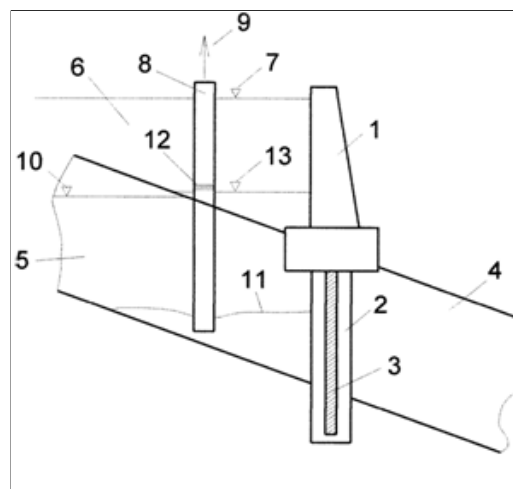


Fig. 4. Device for regulating groundwater reserves

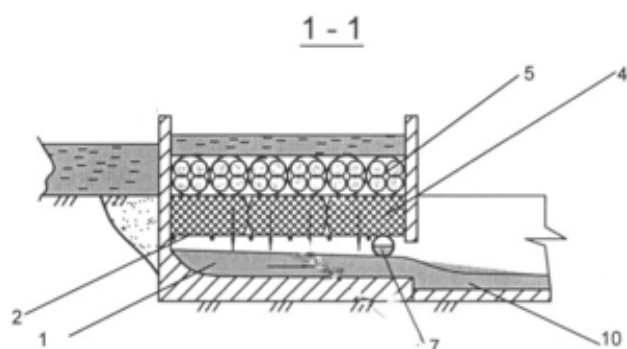


Fig. 5. Underflow filtering water intake

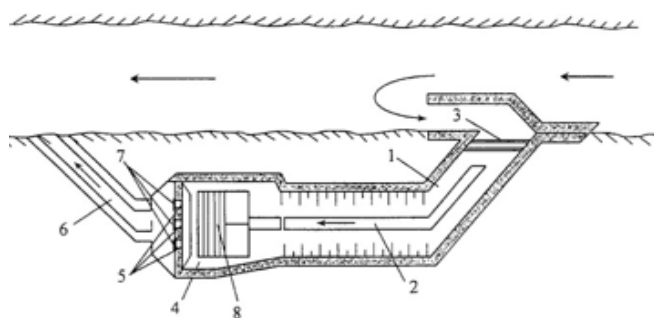


Fig. 6. Device for purifying highly turbid waters

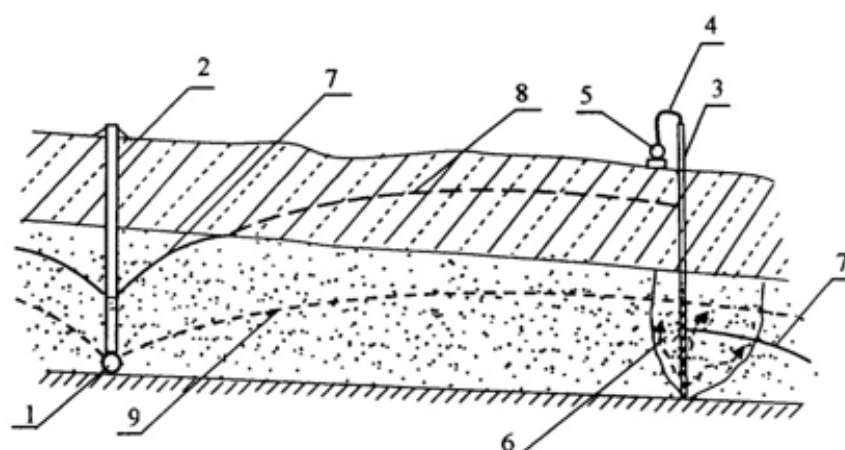


Fig. 7. Device for regulating groundwater reserves

The use of such devices allows for the regulation of underground reserves, ensuring a stable water supply for settlements and industrial facilities, and creating strategic water reserves for agricultural irrigation. The process flow diagram is adjusted depending on natural, climatic, and hydrogeological conditions.

*Areas of potential underground reservoir development associated with the largest buried valleys.*

Almost all modern rivers in the platform plains of Central Kazakhstan have ancient buried valleys

formed during the Lower Quaternary and Pliocene periods. They are connected to these valleys by their watersheds, general flow direction, and valley structure, meaning they are continuations or remnants of ancient rivers. Buried valleys have been identified in the areas of the Tokrau, Zhamshi, Sarysu, Nura, Sherubainury, Torgai, Moiyn, and other rivers. Their depths vary considerably, sometimes reaching 100 meters, and are typically filled by three sediment horizons. The width of ancient valleys is typically quite large, ranging from 6 to 15 km. The vast volumes of water-bearing rocks (sand, gravel, and pebbles) and the good filtration properties of aquifers (filtration coefficient of 28–236 m/day, transmissivity of 500–1200 m<sup>2</sup>/day) make it possible to create underground reservoirs in buried valley areas, both large, multi-purpose ones and medium-sized ones (primarily for agricultural purposes).

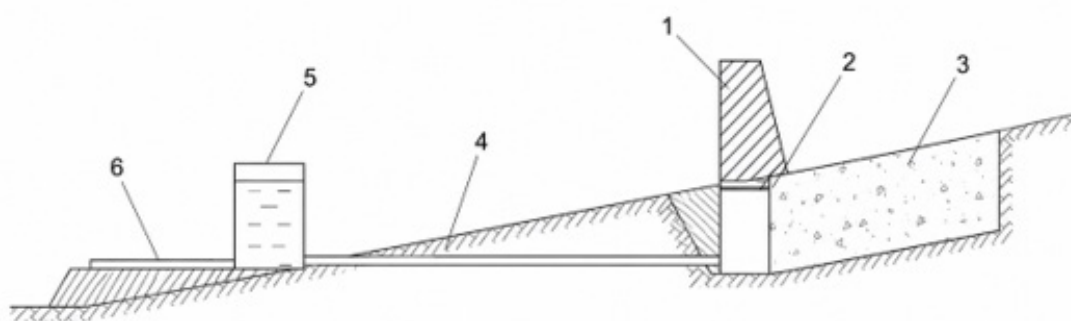
For this group of areas, the use of an open, gravity-fed underground reservoir system (Type I) is proposed. Key hydrogeological parameters include: thickness of 15–29 m, filtration coefficient of 28–236 m<sup>3</sup>/day, and transmissivity of 500–6300 m<sup>2</sup>/day. This includes the construction of artificial dams to accumulate river flood runoff and subsequently recharge groundwater. Irrigation water from the oasis irrigation system is used as an additional source of groundwater replenishment.

*Areas for the potential creation of small underground reservoirs for pasture irrigation.*

In Central Kazakhstan, unconfined fracture waters with shallow circulation are predominantly found in the open fracture zone of effusive, intrusive, sedimentary, and metamorphic formations of the pre-Paleozoic and Paleozoic eras, as well as pasture areas. These areas are largely dry steppes, where precipitation amounts to 100–300 mm/year. Under these conditions, water is the main factor limiting the use of remote pastures due to their low water content.

The well-dissected topography and intense fracturing of the rocks create favorable conditions for the infiltration of precipitation and its accumulation in fracture groundwater. The current zone of exogenous fracturing, with its relatively thin thickness and highly variable basement topography, forms a unique, relatively small groundwater basin in the selected area, the boundaries of which are generally determined by the terrain.

For this group of areas, a typical technological scheme for a watering station based on MAR using groundwater reservoirs is recommended (Figure 8). The main hydrogeological parameters of the scheme are: thickness of 25–100 m, filtration coefficient of 1–11 m/day, and transmissivity coefficient of 24–610 m<sup>2</sup>/day.



1 – earth dam; 2 – inspection well; 3 – radial water collection trench; 4 – tubular water conduit; 5 – storage tank; 6 – watering trough.

Fig. 8. Typical flow chart of a watering station based on MAR using groundwater reservoirs

As regional confirmation of the effectiveness of infiltration systems water intake in the Karaganda region can be used, where a 13 million m<sup>3</sup> infiltration basin fed by the Tonarskoye Reservoir on the Sherubay-Nura River operates. With permeability coefficients of 20–140 m/day and transmissivity of 240–4,100 m<sup>2</sup>/day, typical of alluvial aquifers, conditions are created for intensive infiltration and rapid redistribution of incoming water within the aquifer. For buried valleys, where the aquifer thickness reaches 15–29 m, the permeability coefficient ranges from 28–236 m/day and transmissivity ranges from 500–6,300 m<sup>2</sup>/day, further demonstrating the high injectivity of the collectors. These existing regional indicators confirm the potential for accumulating significant volumes of surface runoff in groundwater aquifers and subsequently using these resources during low-water periods. However, specific annual recharge volumes and rates of groundwater level restoration should be determined for each site based on balance calculations, experimental filtration work, and numerical modeling, as they depend on the area of infiltration structures, the duration of water supply, the actual injectivity, and the aquifer discharge conditions.

## Discussion.

To create large underground reservoirs, it is recommended to use open unconfined groundwater recharge systems (Type I) with artificial reservoirs to accumulate flood runoff and recharge groundwater. The division of aquifers into Types I and II is based primarily on their occurrence conditions, degree of hydraulic openness, depth and filtration properties of the aquifer rocks, as well as the nature of their connection to surface sources.

Type I includes predominantly open unconfined aquifers in alluvial and buried valleys, directly connected to river runoff and capable of receiving infiltration water from the surface. They are characterized by aquifer thicknesses of 10–30 m in modern river valleys and 15–29 m in buried valleys, with permeability coefficients of 20–140 and 28–236 m/day, respectively, and transmissivity of up to 4,100 and 6,300 m<sup>2</sup>/day. The presence of a direct hydraulic connection with flood runoff, the absence of a continuous aquiclude, and a predominantly unconfined regime make these aquifers most suitable for open infiltration systems.

Type II aquifers are proposed to be associated with closed geological structures and deeper groundwater occurrence, primarily fissure-karst and carbonate complexes. Unlike Type I aquifers, their recharge and groundwater distribution are controlled not only by surface runoff but also by fracturing, karstification, and the structural and tectonic features of the massif. A practical criterion for selecting closed systems is the depth of the aquifer: at depths of up to 15–20 m, infiltration wells are advisable, while at greater depths, absorption wells are preferable. For such facilities, an additional performance criterion is the ability to control the dilution of brackish groundwater with fresh water while maintaining hydraulic connectivity between the injection zone and the exploited aquifer.

Closed brachyanticline basins, such as the Zhanai, Aidos, Sarybulak, Mashuran, and Alaigyr structures, composed of permeable rocks capable of retaining significant volumes of water, are the most suitable for artificial groundwater replenishment. Groundwater replenishment can be achieved by drawing surface water from the Zhezda, Kengir, Sarybulak, Sherubai-Nura, and other rivers. For Type II aquifers, closed-loop flowsheets employing infiltration wells at depths of up to 15–20 meters and absorption wells at greater depths are a rational approach. These systems can also be used to dilute brackish groundwater in limestone structures. The flowsheet includes preliminary treatment and preparation of river water before injection to improve drinking water quality and reduce suspended solids and microbial levels.

The proposed systems were chosen based on their suitability for the natural conditions of Central Kazakhstan and the nature of available replenishment sources. Compared to direct water injection through deep wells, Type I open infiltration basins require lower operating costs, utilize natural gravity filtration, and provide additional removal of suspended solids as the water passes through the aeration zone. Compared to surface water storage in traditional reservoirs, MAR reduces evaporation losses, which are particularly significant in arid climates, while simultaneously creating a strategic water reserve directly within the aquifer. Closed systems with infiltration wells and absorption wells are preferable for deep and structurally confined aquifers, as they allow precise control over the location and volume of water inflow and can be used when it is necessary to improve the hydrochemical composition of groundwater. Thus, a combination of open gravity systems for alluvial and buried valleys and closed systems for deep carbonate and fissure-karst aquifers appears best suited to the spatial heterogeneity of the hydrogeological conditions of Central Kazakhstan.

## Conclusion.

In conclusion, the study emphasizes that Central Kazakhstan possesses significant and largely underutilized potential for the implementation of artificial groundwater replenishment technologies. This is due to a combination of favorable hydrogeological conditions, geomorphological features, and the region's arid and semi-arid climate. The conducted zoning of the territory allowed us to substantiate the identification of zones of varying potential, forming a scientific and practical basis for a differentiated approach to the design and placement of artificial groundwater replenishment systems.

The most promising areas, located along the valleys of major rivers (Nura, Sherubay-Nura, Talay, Zharly, Tunduk, Kengir, Sarysu, etc.), are characterized by thick alluvial deposits with high filtration properties. These conditions create the preconditions for the formation of significant underground reservoirs, effectively replenished by flood runoff. In turn, type II carbonate structures (Zhezkazgan-Ulatau and Niyaz-Yerementau districts) possess high potential due to their extensive fracturing and karstification, which facilitates intensive infiltration and accumulation of groundwater. The technological schemes for MAR, both open and closed, developed as part of the study allow for the flexible adaptation of engineering solutions to specific

environmental conditions. The use of infiltration basins, regulated water intake structures, and absorption wells not only increases groundwater reserves but also manages their regime. Technologies using absorption wells are particularly important for carbonate formations, where targeted dilution of brackish water by injecting fresh surface water is possible. Furthermore, ensuring high quality of the injected water is a key condition for the effective implementation of artificial groundwater replenishment. The need for preliminary water treatment and preparation is driven by the unstable hydrochemical and sanitary-bacteriological conditions of surface water. The implementation of modern treatment facilities and water quality control systems should be considered a mandatory element of the entire process chain.

Equally important are the organizational and environmental aspects: the successful operation of MAR systems requires continuous monitoring of the hydrogeological regime, control of filtration and mixing processes, and an assessment of potential aquifer contamination risks. Only by meeting these conditions can the environmental safety and long-term sustainability of water management systems be ensured. Thus, the study results confirm that the integrated application of artificial groundwater recharge technologies, based on consideration of natural conditions, the use of modern engineering solutions, and strict adherence to environmental requirements, is one of the most promising areas for water supply development in Central Kazakhstan. The implementation of the proposed approaches will improve the reliability of water supply, ensure the rational use of water resources, and create a sustainable basis for the socio-economic development of the region in the context of increasing freshwater shortages.

#### REFERENCES

- Al Maktoumi, A. (2025). A review of factors affecting the performance and impact of managed aquifer recharge projects: Insights from arid regions. *Journal of Groundwater Science and Engineering*, 13(3): 312–340. (gwse.iheg.org.cn)
- Barkalov I.A. & Khordikainen M.A. (1984). Hydrogeological conditions of Central Kazakhstan. Nauka, — M. [in Russ.].
- Cao H., Qian J., Chen H., Liu C., Gao S., Lyu M., Dong W. & Hu C. (2025). Managed aquifer recharge and extraction effects on groundwater level and quality dynamics in a typical temperate semi arid fissured karst system: a multi method quantitative study. *Hydrology and Earth System Sciences*. 29. 5213–5235. (hess.copernicus.org)
- Dillon P., Pavelic P., Page, D., Beringen H. & Ward J. (2019). Managed aquifer recharge: An introduction. *Water*. 11(5). 1035.
- Karagandy Invest (2021). Natural Resource Potential of Central Kazakhstan.
- Margat, J., Van Der Gun J. (2013). Groundwater around the World. CRC Press/Balkema. 372 p. International Standard Book Number – 13: 978-0-203-77214-0.
- Murtazin E., Miroshnichenko O., Trushel L. (2019). Structure of geoinformational and analytical system. *Groundwater Resources and Reserves of the Republic of Kazakhstan // News of the Academy of sciences of the Republic Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*. № 3. Pp. 21–29.
- Nature Scientific Reports (2024). Advances in groundwater recharge technologies and sustainability assessment.
- Pinekker E.V. (1977). Problems of Regional Hydrogeochemistry. Patterns of Distribution and Formation of Groundwater. — M.: Nedra. 1977. 196 p.
- Rational use and protection of underground waters of the Republic of Kazakhstan in the conditions of climatic and anthropogenic changes. Almaty: Print Express. 2020. 280 p.
- Science of the Total Environment (2021). Special issues on managed aquifer recharge.
- Sheik A.G., Kumar A., Sharanya A.G., Amabati S.R., et al. (2025). Machine learning based monitoring and design of managed aquifer rechargers for sustainable groundwater management: scope and challenges. *Environmental Science and Pollution Research*. 32. 31572–31605. (PubMed)
- Smolyar V.A., Sapargaliyev D.S., Kim D.V. (2020). Comprehensive and rational utilisation of surface water and groundwater – the basis of water security of the Republic of Kazakhstan. *Geology and bowels of the earth*. 2020. No. 1 (74). Pp. 59–71.
- gov.kz (2020). Water Resources Assessment of Central Kazakhstan.
- Zhu Y., Guo Z., Wan S., Chen K., Wang Y., Zeng Z., Shen H., Ye J. & Zheng C. (2026). Evaluating long term effectiveness of managed aquifer recharge for groundwater recovery and nitrate mitigation in an overexploited aquifer system. *Hydrology and Earth System Sciences*. 30. 693–708. (hess.copernicus.org)
- Zektser, I.S., L.G. Everett (eds) (2004). Groundwater resources of the world and their use. UNESCO, IHP-VI, Series on Groundwater. No 6. — Paris, UNESCO. 346 p.



**B.I. Nurmukhambetova, Ye.Zh. Murtazim, S.R. Tazhiyev\*, M.Zh. Akynbayeva**

LLP Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: [sula\\_tashiev@mail.ru](mailto:sula_tashiev@mail.ru)

## ON THE EFFICIENT EXTRACTION OF LITHIUM FROM NATURAL BRINES

**Nurmukhambetova Bakhyt Isahanovna**, Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher at the Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Kazakhstan, 050010, Almaty, Ualikhanov str., 94

E-mail: [bah.3007@mail.ru](mailto:bah.3007@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0008-0666-9799>;

**Murtazin Ermek Zhamshitovich**, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Deputy Director for Science at the Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Kazakhstan, 050010, Almaty, Ualikhanov str., 94

E-mail: [ye.murtazin@gmail.com](mailto:ye.murtazin@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7404-4298>;

**Tazhiyev Sultan Rysniazovich**, PhD, Leading Researcher at the Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Kazakhstan, 050010, Almaty, Ualikhanov str., 94

E-mail: [sula\\_tashiev@mail.ru](mailto:sula_tashiev@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5920-7757>;

**Akynbaeva Madina Zhakypzhanovna**, engineer at the Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Kazakhstan, 050010, Almaty, Ualikhanov str., 94

E-mail: [akynbaeva\\_m@mail.ru](mailto:akynbaeva_m@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9543-1457>.

**Abstract.** *Introduction.* The anthropogenic factor of global climate change and the resulting concepts and approaches to carbon neutrality are aimed at developing innovative renewable energy technologies. In this context, lithium energy storage systems play a crucial role. Today, the lithium industry has reached new heights due to the rapid growth of lithium production for batteries, in addition to the transition to renewable energy sources. *Materials and methods.* This article discusses methods for extracting lithium from low-lithium aqueous salt solutions, including solvent extraction, adsorption, membrane technologies, electrochemical methods, and/or a combination of these. These technologies offer significant potential for the sustainable extraction of Li<sup>+</sup> from aqueous solutions with low lithium ion contents. However, additional research and development are needed to scale up laboratory experiments to commercial production. *Results and discussion.* The analysis of published scientific papers, low lithium concentrations (from 7 to 55 mg/l) in the studied water-salt solutions, even with significant volumes of processing of such waters, indicates the need for innovative methods, an optimized strategy, new complex technologies and materials for the production of commercially successful lithium compounds. *Conclusions.* Extraction of lithium from aqueous solutions with low lithium concentrations of up to 55 mg/l and high concomitant presence of magnesium ions in a ratio to lithium ions from 24.8 to over 400, although technically possible, is often unprofitable due to the high cost and multi-stage nature of the process. Improvements in technologies and materials could lead to more sustainable and efficient lithium production, which is essential for the production of lithium-ion batteries and a number of other valuable products.

**Keywords:** lithium carbonate, lithium extraction methods, hydromineral raw materials, lithium reserves, natural brine

**For citation:** Nurmukhambetova B.I., Murtazim Ye.Zh., Tazhiyev S.R., Akynbaeva M.Zh. (2026). On the efficient extraction of lithium from natural brines // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 179–190. <https://doi.org/10.37884/4-2026/14> [In Russ.]

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

**Funding:** This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under grant project AP23489898: “Natural lithium-bearing brines of the Shu-Sarysu Basin: genesis, mineral resource potential, and development prospects”, 2024–2026.

**Б.И. Нұрмұхамбетова, Е.Ж. Мұртазин, С.Р. Тажиев\*, М.Ж. Акынбаева**

У.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты, Алматы, Қазақстан.

E-mail: sula\_tashiev@mail.ru

## ТАБИҒИ ТҰЗДЫ СУЛАРДАН ЛИТИЙДІҢ ТИІМДІ АЛУ ТУРАЛЫ

**Нұрмұхамбетова Бақыт Исаханқызы**, химия ғылымдарының кандидаты, У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институтының жетекші ғылыми қызметкері, Қазақстан, 050010, Алматы, Уалиханов көшесі, 94

E-mail: bah.3007@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-0666-9799>;

**Мұртазин Ермек Жамшитұлы**, геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты директорының ғылым жөніндегі орынбасары, Қазақстан, 050010, Алматы қаласы, Уалиханов көшесі, 94

E-mail: ye.murtazin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7404-4298>;

**Тажиев Сұлтан Рысниязұлы**, PhD, У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институтының жетекші ғылыми қызметкері, Қазақстан, 050010, Алматы, Уалиханов көшесі, 94

E-mail: sula\_tashiev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5920-7757>;

**Акынбаева Мадина Жакыпжановна**, У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институтының инженері, ҚР, 050010, Алматы, Уалиханов көшесі, 94

E-mail: akynbaeva\_m@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9543-1457>.

**Аннотация.** *Kipicne.* Жаһандық климаттың өзгеруінің антропогендік факторы және одан туындайтын көміртегі бейтараптығына қатысты тұжырымдамалар мен тәсілдер инновациялық жаңартылатын энергия технологияларын дамытуға бағытталған. Осыған байланысты литий энергиясын сақтау жүйелері маңызды рөл атқарады. Бүгінгі таңда литий өнеркәсібі жаңартылатын энергия көздеріне көшумен қатар, батареяларға арналған литий өндірісінің жылдам өсуіне байланысты жаңа биіктерге жетті. *Материалдар мен әдістер.* Бұл мақалада литийі аз сулы тұз ерітінділерінен литийді алу әдістері, соның ішінде еріткішпен экстракциялау, адсорбция, мембраналық технологиялар, электрохимиялық әдістер және/немесе олардың үйлесімі талқыланады. Бұл технологиялар литий иондарының құрамы төмен сулы ерітінділерден  $\text{Li}^+$  тұрақты экстракциясы үшін айтарлықтай әлеует ұсынады. Дегенмен, зертханалық тәжірибелерді коммерциялық өндіріске дейін кеңейту үшін қосымша зерттеулер мен әзірлемелер қажет. *Нәтижелер мен талқылау.* Жарияланған ғылыми мақалаларды талдау, зерттелген су-тұз ерітінділерінде литий концентрациясының төмендігі (7-ден 55 мг/л-ге дейін), тіпті мұндай суларды өңдеудің айтарлықтай көлеміне қарамастан, коммерциялық тұрғыдан тиімді литий қосылыстарын өндіру үшін инновациялық әдістердің, оңтайландырылған стратегияның, жаңа күрделі технологиялар мен материалдардың қажеттілігін көрсетеді. *Қорытынды.* Литий концентрациясы 55 мг/л дейінгі төмен және магний иондарының литий иондарына қатынасы 24,8-ден 400-ге дейін жоғары сулы ерітінділерден литийді алу, техникалық тұрғыдан мүмкін болса да, процестің қымбаттығы мен көп сатылы сипатына байланысты көбінесе тиімсіз болып келеді. Технологиялар мен материалдарды жетілдіру литий-ионды батареялар мен басқа да бірқатар құнды өнімдерді өндіру үшін өте маңызды болып табылатын литий өндірісінің тұрақты және тиімді болуына әкелуі мүмкін.

**Түйін сөздер:** литий карбонаты, литий алу әдістері, гидроминералды шикізат, литий қорлары, табиғи тұзды ерітінді

**Дәйексөз үшін:** Нұрмұхамбетова Б.И., Мұртазин Е.Ж., Тажиев С.Р., Акынбаева М.Ж. (2026). Табиғи тұзды сулардан литийдің тиімді алу туралы // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 179–190. <https://doi.org/10.37884/4-2026/14> [In Russ.]

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

**Алғыс:** Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің

Ғылым комитеті қаржыландырған AP23489898 гранттық жобасы аясында орындалды: «Шу-Сарысу ойпатының табиғи литийлі рассолдары: генезисі, минералдық-шикізаттық әлеуеті және игеру перспективалары», 2024–2026.

**Б.И. Нурмухамбетова, Е.Ж. Муртазин, С.Р. Тажиев\*, М.Ж. Акынбаева**

ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан.

E-mail. sula\_tashiev@mail.ru

## ОБ ЭФФЕКТИВНОМ ИЗВЛЕЧЕНИИ ЛИТИЯ ИЗ ПРИРОДНЫХ РАССОЛОВ

**Нурмухамбетова Бахыт Исахановна**, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник Института гидрогеологии и геоэкологии имени У.М. Ахмедсафина, Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Валиханова, 94

E-mail: bah.3007@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-0666-9799>;

**Муртазин Ермек Жамшитович**, кандидат геолого-минералогических наук, заместитель директора по науке Института гидрогеологии и геоэкологии имени У.М. Ахмедсафина, Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Валиханова, 94

E-mail: ye.murtazin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7404-4298>;

**Тажиев Султан Рысниязович**, PhD, ведущий научный сотрудник Института гидрогеологии и геоэкологии имени У.М. Ахмедсафина, Казахстан, 050010, Алматы, ул. Валиханова, 94

E-mail: sula\_tashiev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5920-7757>;

**Акынбаева Мадина Жакыпжановна**, инженер Института гидрогеологии и геоэкологии имени У.М. Ахмедсафина, Казахстан, 050010, Алматы, ул. Валиханова, 94

E-mail: akynbaeva\_m@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9543-1457>.

**Аннотация.** *Введение.* Антропогенный фактор глобальных климатических изменений, принятые в связи с этим концепция и подходы углеродной нейтральности направлены на создание инновационных технологий возобновляемых источников энергии. В этом контексте литиевые системы хранения энергии играют первостепенную роль. На сегодня литиевая промышленность достигла новых высот из-за резкого роста производства лития для аккумуляторов в дополнение к переходу на возобновляемые источники энергии. *Материалы и методы.* В статье рассмотрены методы извлечения лития из водно-солевых растворов с низким содержанием лития, такие как экстракция растворителем, адсорбция, мембранные технологии, электрохимические методы и/или их комбинация. Эти технологии раскрывают значительный потенциал для устойчивого извлечения  $\text{Li}^+$  из водных растворов при небольшом содержании ионов лития. Однако необходимы дополнительные исследования и разработки для масштабирования лабораторных экспериментов до производства готовой продукции. *Результаты и обсуждение.* Проведенный анализ опубликованных научных работ, небольшие концентрации лития (от 7 до 55 мг/л) в исследованных водно-солевых растворах даже при значительных объемах переработки таких вод свидетельствует о необходимости инновационных методов, оптимизированной стратегии, новых комплексных технологий и материалов для получения коммерчески успешных соединений лития. *Выводы.* Извлечение лития из водных растворов с низкой концентрацией лития до 55 мг/л, высоким попутным присутствием ионов магния в соотношении к ионам лития от 24,8 до более 400, хоть и технически возможно, часто не является нерентабельным из-за высокой стоимости и многоступенчатости процесса. Совершенствование технологий и материалов могут привести к более устойчивой и эффективной добыче лития, необходимого для производства  $\text{Li}$ -ионных аккумуляторов и ряда других ценных продуктов.

**Ключевые слова:** карбонат лития, методы извлечения лития, гидроминеральное сырье, запасы лития, природный рассол

**Для цитирования:** Нурмухамбетова Б.И., Муртазин Е.Ж., Тажиев С.Р., Акынбаева М.Ж. (2026). Об эффективном извлечении лития из природных рассолов // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 179–190. <https://doi.org/10.37884/4-2026/14> [In Russ.]

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Благодарность:** Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по грантовому проекту AP23489898 «Природные литиеносные рассолы Шу-Сарысу́йской впадины: генезис, минерально-сырьевой потенциал и перспективы освоения», 2024–2026.

### **Введение.**

Литий как легкий и электроположительный из всех металлов имеет высокую химическую активность и широкое применение в электрохимических устройствах.

Учитывая мировую тенденцию перехода на «зеленую» энергию и растущий спрос на устойчивые решения, цены на литий, вероятно, останутся высокими. Крупнейшими производителями лития являются Чили, Китай, Австралия и Аргентина. Крупнейшими импортерами лития являются Китай, Япония, Южная Корея и США.

Как показывает статистика, рынок лития подвержен резким колебаниям цен [Boqiang Lin и др., 2026: 125372]. Достигнув рекордного уровня почти в 600 тыс. юаней или \$84 тыс. за тонну металла в 2022 году, в 2024 г. цены на литий упали на 80 % (до \$13,2 тыс./т) из-за переизбытка предложения и признаков замедления роста спроса на аккумуляторы для электромобилей.

Литий в различных коммерческих продуктах обычно измеряется в эквиваленте карбоната лития. Карбонат лития ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) является наиболее важным соединением лития, производимым в коммерческих целях, составляя 60 % от общего объема производства, за ним следует гидроксид лития ( $\text{LiOH}$ ), на который приходится 24 % от общего объема производства.

Более 60 % мировых запасов лития обнаружено в соляных озерах, что вызвало рост исследований, направленных на извлечение лития из рассола. [Mian-ping Zheng и др., 2023: 547–566].

Однако растущий спрос стимулирует интерес к использованию нетрадиционных ресурсов, таких как геотермальные рассолы и морская вода [Choubey и др., 2017: 104–121.]

Нежелательный продукт, получаемый в нефтегазовой промышленности, то есть нефтяная и газовая вода, также является перспективным ресурсом для эффективного извлечения лития.

Цель данной работы – анализ методов извлечения лития из водно-солевых растворов для оценки и определения наиболее перспективных методов извлечения соединений лития из казахстанского гидроминерального сырья.

### **Методы.**

Оценка содержания лития выполнена на основе полевых региональных гидрогеологических и химико-аналитических исследований.

Отбор проб производился в соответствии с Межгосударственным стандартом ГОСТ ISO 5667-11-2013 «Отбор проб. Руководство по отбору проб подземных вод».

Содержание растворенного лития и других элементов в воде определяли методом атомной эмиссии на спектрометре эмиссионном с индуктивно-связанной плазмой типа ICPE 9820 («Shimadzu Corporation») в соответствии с ГОСТ 31870–2012 «Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии» в соответствии с аттестатом аккредитации № KZ.T.02.0782 от 27 ноября 2020 г. на выполнение химических анализов объектов окружающей среды, включая воды, почвы, донные отложения, а также изучение химического загрязнения органическими и неорганическими веществами.

Извлечение ионов лития проанализировано в контексте методов сорбция/адсорбция, экстракция растворителем, ионный обмен, мембранное разделение и электродиализ. Селективность, эффективность разделения, извлечение, регенерация, экологическая долговечность подчеркиваются, когда это возможно.

### **Материалы.**

Для анализа были предоставлены 4 образца попутных вод эксплуатационных газовых скважин Шу-Сарысу́йского осадочного бассейна, пробы отобраны авторами данной работы, а также 21 проба нефтяных скважин Западного Казахстана и Кызылординской области, пробы отбирались работниками нефтегазовых компаний.

### **Результаты.**

Основные водно-солевые источники лития включают геотермальный рассол, рассол соляных озер и рассол нефтяных и газовых месторождений (таблица 1).

Таблица 1. Типичные концентрации лития в гидроминеральном сырье и сточных водах

| Источник лития                                          | Концентрация Li (мг/л)                                                        |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Морская вода,<br>в том числе Каспийское море            | 0,1–0,22<br>0,21<br>[Quinby-Hunt и др., 1983: 130]                            |
| Геотермальные рассолы                                   | 10-20<br>[Choubey и др., 2017: 104–121].                                      |
| Сточные воды по производству литий-ионных аккумуляторов | 1000–2000<br>[Flexer и др., 2018: 1188–1204;<br>Qiu и др., 2019: 13481–13490] |
| Пластовые воды                                          | 5–500<br>[Kim и др., 2018: 175–182]                                           |

Химический анализ образцов попутных нефтяных вод нефтегазовых месторождений Западного Казахстана и Кызылординской области (таблица 2) не выявил существенных концентраций лития (в среднем 7 мг/л), самое большое значение – 18,4 мг/л. Полученные образцы характеризуются высоким содержанием ионов магния при высокой и средней минерализации растворов. Хотя и существует вероятность разбавления исследованных образцов буровым раствором и водами вышележащих водоносных горизонтов из-за некачественной изоляции последних.

Таблица 2. Содержание лития в попутных нефтяных водах Западного Казахстана и Кызылординской области (по результатам полевых работ 2021–2022 гг.)

| № скважины                    | Местоположение                            | Водоносный горизонт | Минерализация, мг/дм <sup>3</sup> | Li <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup> | Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup> | Соотношение Mg <sup>2+</sup> /Li <sup>+</sup> |
|-------------------------------|-------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>Атырауская область</b>     |                                           |                     |                                   |                                      |                                       |                                               |
| 115                           | м/р С.Нуржанова                           | J <sub>2</sub>      | 258 944,0                         | 9,99                                 | 1884,8                                | 188,0                                         |
| 222                           | м/р С.Нуржанова                           | J <sub>2</sub>      | 251 890,0                         | 10,72                                | 608,0                                 | 56,7                                          |
| 41                            | м/р Актобе                                | J <sub>2</sub>      | 269 164,0                         | 7,81                                 | 2310,4                                | 295,7                                         |
| 19                            | м/р Актобе                                | J <sub>3</sub>      | 269 968,0                         | 6,0                                  | 1702,4                                | 283,7                                         |
| 430                           | м/р Зап. Прорва                           | T <sub>3</sub>      | 218 354,0                         | 6,0                                  | 2432,0                                | 405,3                                         |
| <b>Актюбинская область</b>    |                                           |                     |                                   |                                      |                                       |                                               |
| 1-ВУ                          | м/р Вост. Урихтау                         |                     | 58 729,0                          | 6,96                                 | 486,4                                 | 69,9                                          |
|                               | м/р Мангизтауское                         |                     | 258 878,0                         | 5,66                                 | 1246,4                                | 220,1                                         |
| 928                           | ЦДНГ-1                                    |                     | 79 652,0                          | 18,4                                 | 486,4                                 | 26,4                                          |
|                               | м/р Чинаревское УПН                       | K <sub>2</sub>      | 253 845,0                         | 13,53                                | 2432,0                                | 179,7                                         |
| <b>Мангистауская область</b>  |                                           |                     |                                   |                                      |                                       |                                               |
| 7146                          | Озен Мунай Газ, НГДУ 2, нефтяная скважина |                     | 65 224,0                          | 3,84                                 | 413,4                                 | 107,5                                         |
| 3837                          | Озен Мунай Газ, НГДУ 2, нефтяная скважина |                     | 28 938,0                          | 1,77                                 | 340,5                                 | 192,3                                         |
| 7768                          | Озен Мунай Газ, НГДУ 2, нефтяная скважина |                     | 63 679,0                          | 3,74                                 | 243,2                                 | 64,9                                          |
| <b>Кызылординская область</b> |                                           |                     |                                   |                                      |                                       |                                               |
| 39                            | Акшабулак Восточный КазГерМунай           | J <sub>1</sub>      | 90 821,0                          | 4,50                                 | 364,8                                 | 81,0                                          |
| 206                           | Акшабулак Южный КазГерМунай               | J <sub>3</sub>      | 99 866,0                          | 6,66                                 | 547,2                                 | 82,1                                          |
|                               | УПН м/р Нуралы КазГерМунай                | J                   | 72 690,0                          | 4,16                                 | 456,0                                 | 109,6                                         |
|                               | БКНС УПН м/р Нуралы КазГерМунай           | J                   | 76 581,0                          | 4,22                                 | 304,0                                 | 72,0                                          |
|                               | ОКНС м/р Нуралы после РВС КазГерМунай     | J                   | 76 239,0                          | 4,28                                 | 395,2                                 | 92,3                                          |
|                               | ОКНС м/р Нуралы до РВС КазГерМунай        | J                   | 77 545,0                          | 4,50                                 | 425,6                                 | 94,6                                          |
| 103                           | м/р Нуралы, КазГерМунай                   | J <sub>2-3</sub>    | 81 054,0                          | 4,36                                 | 364,8                                 | 83,7                                          |
| 231                           | м/р Нуралы, КазГерМунай                   | J <sub>2</sub>      | 93 291,0                          | 5,62                                 | 486,4                                 | 88,5                                          |
| 231/1                         | м/р Нуралы, КазГерМунай                   | J <sub>2</sub>      | 92 693,0                          | 5,94                                 | 456,0                                 | 76,7                                          |

Ранее отмечено значительное содержание лития в околонефтяных водах месторождений Карачаганак (до 196 мг/л Li<sub>2</sub>O), Колькудук (до 130 мг/л Li<sub>2</sub>O) с возможностью извлечения до 1 тыс. т

карбоната лития в год [Абсаметов и др., 2024: 141–154].

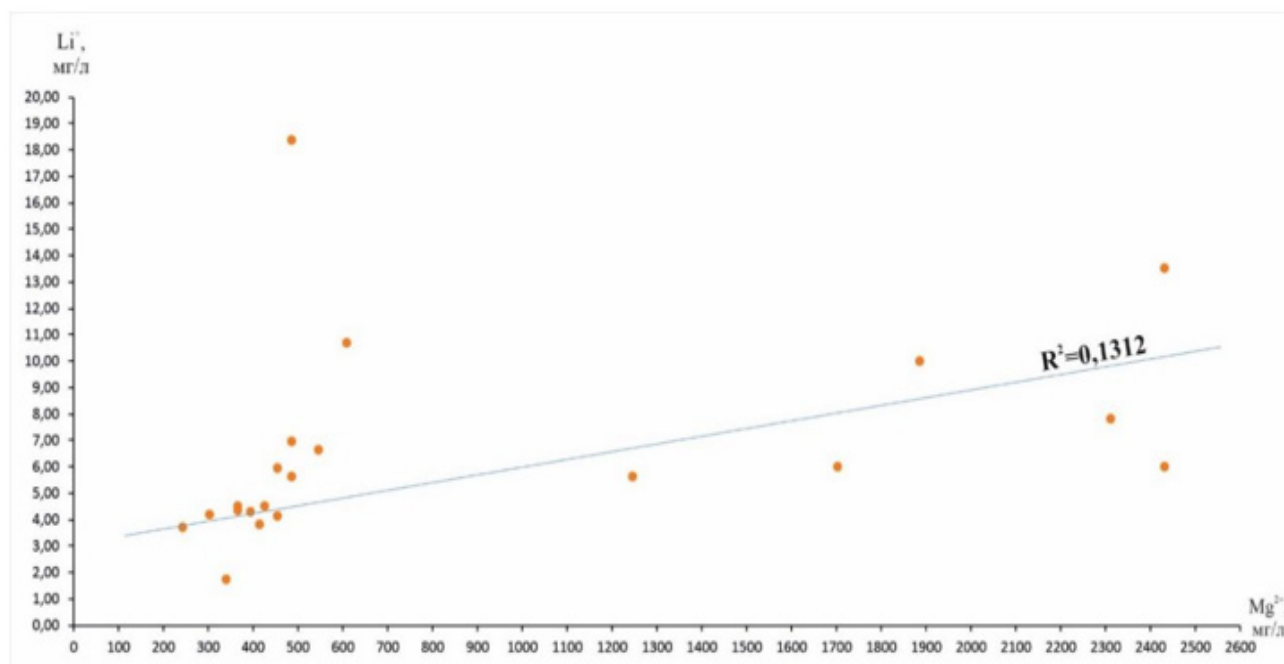


Рис. 1. Концентрация лития в зависимости от концентрации магния попутных нефтяных водах Западного Казахстана и Кызылординской области.

[Fig. 1. Lithium concentration depending on magnesium concentration in associated oil waters of Western Kazakhstan and Kyzylorda region].

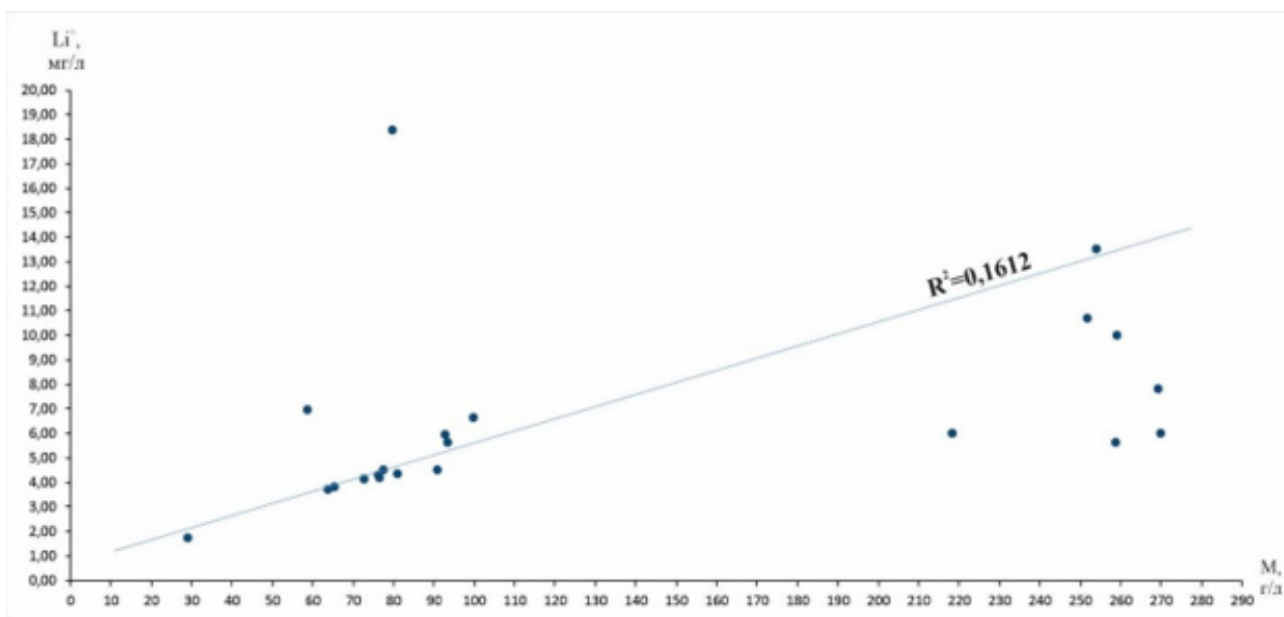


Рис. 2. Концентрация лития в зависимости от общей минерализации попутных нефтяных вод Западного Казахстана и Кызылординской области.

[Fig. 2. Lithium concentration depending on the total mineralization of associated petroleum waters in Western Kazakhstan and the Kyzylorda region].

Статистический анализ полученных данных показывает, что концентрация лития имеет слабую связь с содержанием ионов магния (рисунок 1) и насыщенностью исследуемых растворов (рисунок 2). Коэффициент корреляции для результатов обработки данных, показанных на рисунках 1–2, значительно ниже 0,3, что указывает на отсутствие линейной связи между содержанием лития и другими компонентами.

В рамках грантового проекта AP23489898 изучена роль гидрогеохимических и тектонических условий, определяющих содержание лития в пределах Шу-Сарысуиской впадины [Муртазин и др., 2025: 464–472], а также исследованы образцы попутных вод ряда эксплуатационных газовых скважин Шу-Сарысуиского осадочного бассейна (таблица 2). Как следует из приведенных данных, содержание

лития варьирует 25–55 мг/л при высокой минерализации и большом содержании ионов магния.

Таблица 3. Катионный состав образцов воды из некоторых действующих эксплуатационных газовых скважин Шу-Сарысуьской провинции, дата отбора – 28, 29 сентября 2024 г (мг/л)

| Источник                                    | Минерализация | pH   | Li+   | Na+     | K+     | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | Fe сум | Соотношение Mg <sup>2+</sup> /Li+ |
|---------------------------------------------|---------------|------|-------|---------|--------|------------------|------------------|------------------------------|--------|-----------------------------------|
| скважина №105 месторождения газа Айрақты    | 211788,0      | 5,45 | 31,92 | 36614,0 | 780,5  | 32032,0          | 3648,0           | <0,05                        | 53,1   | 114                               |
| скважина №102 месторождения газа Айрақты    | 140133,0      | 5,9  | 24,46 | 28842,5 | 544,0  | 20020,0          | 608,0            | 114,1                        | 111,3  | 24,8                              |
| скважина №110 месторождения газа Амангельды | 272105,0      | 4,96 | 55,11 | 52368,1 | 1264,7 | 41041,0          | 1824,0           | 244,0                        | 127,1  | 33                                |
| скважина №120 месторождения газа Амангельды | 146829,0      | 5,4  | 28,46 | 27206,0 | 799,5  | 24024,0          | 3648,0           | 145,0                        | 105,9  | 128                               |

### Обсуждение.

В настоящее время методы извлечения лития из водных литиевых ресурсов включают испарение и осаждение, экстракцию растворителем, адсорбцию, мембранные технологии, электрохимические методы или их комбинацию. Хотя ряд источников сообщают о степени извлечения лития из рассола около 90 % – существенном улучшении по сравнению с 40–60 % в традиционных испарительных методах, – эти цифры основаны на контролируемых демонстрациях и не подтверждены в условиях полномасштабной эксплуатации.

Во многих отношениях прямое извлечение лития из водно-солевых растворов представляет собой существенный прорыв для решения задач зеленой промышленной экономики, которая могла бы одновременно обеспечить высокотехнологичный рост и климатические преимущества.

Высокоэффективные методы производства Li постоянно исследуются для удовлетворения спроса, связанного с ускоряющимся ростом его потребления. Важно сосредоточиться не только на технологиях извлечения Li, которые считаются новыми и многообещающими, но также рассмотреть технологии, которые имеют экологически чистые, энергоэффективные и экономически эффективные характеристики.

На сегодняшний день применяются четыре основных метода прямого извлечения лития – сорбция/адсорбция, экстракция растворителем, ионный обмен, мембранное разделение и электродиализ.

Сорбция и адсорбция являются ключевыми технологиями для селективного извлечения лития из различных видов гидроминерального сырья, особенно из природных рассолов (соленых озер, геотермальных и попутных пластовых вод). Эти методы считаются более экологичными и экономически выгодными по сравнению с традиционным галургическим выпариванием, особенно для рассолов с высоким содержанием примесей (магний, кальций). Метод основан на использовании специальных литий-селективных сорбентов, которые способны избирательно извлекать ионы лития из сложного ионного раствора. Литийсодержащий раствор пропускается через колонку, заполненную сорбентом. Ионы лития адсорбируются на поверхности или в порах сорбента, незадержанные примеси промываются. Сорбент обрабатывается специальным раствором (например, разбавленной кислотой или щелочным раствором), который высвобождает ионы лития в концентрированный элюат, пригодный для дальнейшей переработки (например, осаждения в виде карбоната лития).

К преимуществам сорбционных методов относится селективность-сорбенты позволяют извлекать литий даже из растворов с очень низкими его концентрациями и высоким содержанием конкурирующих ионов; экологичность и экономичность – технология позволяет снизить негативное воздействие на окружающую среду по сравнению с традиционными методами и эффективно перерабатывать нетрадиционное сырье, автоматизация - процесс адсорбции может быть реализован в автоматизированных колонных системах, что обеспечивает высокую эффективность и возможность масштабирования.

При этом сорбенты могут извлекать не только литий, но и другие металлы, такие как натрий и калий, что снижает чистоту конечного продукта, сами сорбенты и реагенты для их активации или реге-

нерации могут быть дорогостоящим. Могут быть затруднения с регенерацией сорбента: сорбент необходимо периодически регенерировать, что усложняет и удорожает процесс, а также может приводить к потере его сорбционной способности, в процессе работы сорбент может деградировать, что снижает его эффективность и требует замены.

Существует три основных типа неорганических металлических адсорбентов лития, широко применяемых для извлечения лития, включая слоистые адсорбционные материалы на основе Al, ионные сита на основе Mn и ионные сита на основе Ti. Ионообменные сита на основе Ti имеют прочные связи Ti-O, которые наделяют их стабильной структурой, превосходной кислотостойкостью и исключительной способностью адсорбировать Li [Xifan Li и др., 2025: 128652]. Однако высокая стоимость препятствует практическому применению этих материалов на основе Ti. Адсорбенты на основе Al продемонстрировали лучший потенциал в промышленных приложениях благодаря своей технологической зрелости, недорогому сырью, простой процедуре синтеза.

Среди неорганических адсорбентов для адсорбции лития широко использовался  $MnO_2 \cdot xH_2O$  ( $x = 0,3, 0,4$  и т.д.). В работе [Yu и др., 2025: 119168] представлен синтез пористого адсорбента на основе марганца ( $HMn_2O_4$ ) для селективного извлечения лития из рассола. Для приготовления пористого прекурсора  $LiMn_2O_4$  был использован высокотемпературный твердофазный метод, что увеличило взаимодействие между адсорбентом и литийсодержащими растворами. Результаты показали, что пористый  $HMn_2O_4$  достиг высоких скоростей адсорбции и емкости, при этом равновесие достигалось в течение 5–30 мин, а адсорбция лития достигала 30,83 мг/г. Более того, после десяти циклов адсорбции-десорбции адсорбционная емкость образца оставалась на уровне 91,85 % относительно исходного адсорбента, демонстрируя превосходную стабильность и возможность повторного использования. Эти результаты свидетельствуют о том, что пористый адсорбент  $HMn_2O_4$  является перспективным кандидатом для крупномасштабного извлечения лития из соляных озер.

Показано, что на синтезированном неорганическом сорбенте диоксиде марганца  $LiMnO_2$ ,  $LiMn_2O_4$  возможно извлечение лития на ~86 % из рассолов с низким содержанием целевого компонента – 5,9–7,8 мг/л лития [Karshyga и др., 2023: 7548]. Синтезированы такие неорганические сорбенты, как гидроксид алюминия, оксиды титана и марганца, из которых наиболее высокие показатели достигнуты при использовании гидроксида алюминия – 21,87 % извлечения лития, на гидратированном оксиде марганца, соответственно – 20,11 %.

Грануляция адсорбента с использованием в качестве связующих агентов неорганических материалов и высокомолекулярных соединений позволяет получать композитные частицы, обеспечивающие лёгкое выделение из водной фазы при адсорбции ионов Li. Биоматериалы представляют особый интерес, благодаря их структурному разнообразию. Так, достигнута адсорбционная емкость для хитозана в морской воде 54,7 мг/л, для гидроксипропилцеллюлозы в рассоле – 54,2 мг/л, альгинатные гранулы и агар показали низкую эффективность – 24,9 мг/л и 12,3 мг/л, соответственно [Inimfon и др., 2024: 1520].

Экстракция лития растворителем – это метод прямого извлечения лития из рассолов, при котором специальные органические экстрагенты селективно связывают ионы лития, перенося их из водной фазы в органическую, что позволяет эффективно концентрировать и очищать литий, отделяя его от других солей, таких как магний. Этот процесс включает предварительную подготовку рассола (удаление примесей), саму экстракцию с реагентами (экстрагент + растворитель), последующую регенерацию экстрагента и получение товарных соединений лития. Экстракция позволяет извлекать литий из сложных рассолов с высокой чистотой. На сегодня это ключевой элемент современных технологий прямого извлечения лития (DLE), применяемый для получения лития из водно-солевых растворов.

Экстракция фосфорорганическими соединениями, например, ди-(2-этилгексил)фосфорной кислотой, глубокими эвтектическими растворителями является эффективным методом для извлечения лития из высокоминерализованных растворов, но процесс требует тщательной предварительной обработки (фильтрации, нанофильтрации) и контроля на всех этапах, чтобы получить высокочистый литий. Ионы магния особенно мешают дальнейшему процессу. Хелатирующие агенты, такие как три-октилфосфиноксид и трибутилфосфат [Chenglong Shi и др., 2016: 640-645], применимы к рассолам с низким содержанием  $Mg^{2+}/Li^{+}$ , при этом использование органических растворителей приводит к коррозии промышленного оборудования, загрязняет окружающую среду.

Экстракция растворителем CyaneX 272 позволяет восстанавливать более 90 % ценных металлов,

таких как литий, кобальт, никель и марганец, с чистотой более 95 %, но требует высокого содержания лития в растворе, в частности, 1,33 г/л [Amrita Kumari Jha и др., 2013: 160–166].

Ионообменный метод извлечения лития заключается в использовании специальных смол, которые селективно связывают ионы лития из раствора. Процесс включает сорбцию (захват ионов лития смолой) и последующую десорбцию (высвобождение лития из смолы с получением концентрированного раствора). Плюсы метода включают применимость для растворов с низкой концентрацией лития, снижение эксплуатационных расходов за счет регенерации, экологичность. Недостатки процесса – низкая скорость реакции, что требует больших объемов смолы и длительного времени контакта с раствором, высокая стоимость смол, необходимость в дополнительных стадиях очистки.

Показано, что литий практически не сорбируется на известных ионитах CU-2-8, Purolite S100, Purolite C160S, Purolite S940, Amberlite IR 120, CYBBER CRX 210 и CYBBER CRX 300, например, на сульфокатионите CU-2-8 извлечение составило 0,49 % [Karshigina и др., 2019: 172–180].

Предложены технологические линии для производства карбоната лития из концентрата обратного осмоса морской воды или из нефтяных и газовых пластов с использованием ионообменных смол или интеркаляционного электрода [Nathaniel Cooper и др., 2025: 119156]. Так, ионообменная смола, пропитанная оксидом марганца, позволяет получить карбонат лития за 14,96 долл. США/кг  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  при извлечении 34,3 % лития в раствор (концентрация лития в исходном растворе – 40 мг/л). Хотя, технологические линии позволяли извлекать 30–35 % лития из исходного сырья, что означает, что значительное количество лития всё ещё остаётся неизвлечённым.

Мембранное разделение ионов лития и магния – это процесс отделения этих двух видов ионов друг от друга с помощью полупроницаемой мембраны, которая пропускает одни вещества, но задерживает другие. Этот метод основан на различиях в свойствах ионов, таких как их размер и заряд, и позволяет очистить раствор от примесей или разделить компоненты смеси. Процесс основывается на селективной проницаемости мембраны. Она может иметь поры определенного размера или электростатические свойства, которые позволяют избирательно пропускать ионы лития и задерживать ионы магния или наоборот. Разделение происходит под действием разницы давлений (как в нанофильтрации) или электрического потенциала (в электродиализе). На выходе получается два потока: фильтрат, обогащенный ионами лития, и концентрат, содержащий большую часть ионов магния и кальция. Метод особенно эффективен для переработки рассолов с изначально высоким соотношением магния к литию, что является сложной задачей для других методов.

Преимущества мембранного разделения лития в высокой селективности, улучшении чистоты продукта. Электрохимические методы, включая электродиализ, могут быть использованы для получения ценного гидроксида лития ( $\text{LiOH}$ ) напрямую из раствора хлорида лития, минуя стадию получения карбоната лития.

Недостатки электродиализа для извлечения лития включают высокую энергоёмкость процесса, потребность в значительных объёмах воды и возможность образования отложений на мембранах, что снижает эффективность. Это делает его экономически невыгодным для добычи лития из рассолов с низкими концентрациями. Коммерческие мембраны нанофильтрации (Desal 5 DL, Desal DK, Desal DL-2540 [Sun и др., 2015: 210–217], DK 1812 и NF 90 [Somrani и др., 2015: 210–217] не способны справиться с высоким соотношением  $\text{Mg}^{2+}/\text{Li}^+$ . Лучшая система продемонстрировала 85 % разделение  $\text{Li}^+$  над  $\text{Mg}^{2+}$ .

Селективный электродиализ – это новый электромембранный процесс, в котором вместо обычных ионообменных мембран используются моновалентные селективные ионообменные мембраны [Lambert и др., 2006: 219–225]. Селективный электродиализ использовался для извлечения  $\text{Li}^+$  из соляного раствора (высокое соотношение  $\text{Mg}^{2+}/\text{Li}^+$ ) и морской воды благодаря его превосходной проницаемости для моновалентных ионов и высокому удержанию многовалентных ионов, а также более низким требованиям к предварительной обработке.

В работе [Sifani Zavahir и др., 2021: 114883] выделены три основные классификации современных электрохимических систем захвата лития: электродиализ как процесс на основе электромембраны, емкостная деионизация как процесс с использованием мембраны и аккумуляторов, и электрохимически переключаемый ионный обмен как процесс на основе аккумуляторов. Показано, что емкостная деионизация требует самых высоких капитальных вложений по сравнению с электродиализом и системы восстановления с электрохимическим переключением ионообменных электродов. 46,7 % исследо-

ванных систем электролиза находятся на уровне TRL 6. Технология восстановления с электрохимическим переключением ионообменных электродов является наиболее универсальной и простой в настройке и эксплуатации, однако большинство описанных процессов относятся к уровням TRL 5 (72 %), TRL 6 (5 %) и TRL 7 (5 %).

Мембранные методы обеспечивают высокую селективность и производительность извлечения лития как из растворов с многовалентными катионами (такими как  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ ;  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  и  $\text{Mn}^{2+}$ ), так и из растворов, содержащих одновалентные катионы ( $\text{Na}^{+}$  и  $\text{K}^{+}$ ).

Критическим физико-химическим параметром, влияющим на коммерциализацию и производство промышленного карбоната лития, является содержание лития в рассоле [Knapik и др., 2023: 6628].

Близкие размеры ионных радиусов обуславливают конкурентную сорбцию  $\text{Li}^{+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , поэтому концентрация магния является серьёзным технологическим препятствием, особенно при соотношении  $\text{Mg}^{2+}/\text{Li}^{+} > 40$  [Jiang и др., 2025: 123372]. Ионы натрия, кальция, хлорид-, сульфат-, сульфид- и карбонат-анионы, а также продукты коррозии и осаждаемые соли хоть и являются проблемой, могут быть удалены в ходе предварительной обработки и последующей фильтрации. Особого внимания требует пленка из диспергированных углеводородов.

Надо отметить, что концентрация  $\text{Li}^{+}$  в наиболее привлекательных с коммерческой позиции геотермальных территориях Европы составляет от 125 до 480 мг/л [Sanjuan и др., 2022: 102385].

Таблица 4. Сравнение эффективности основных методов прямого извлечения  $\text{Li}^{+}$  в лабораторных условиях на природных и модельных растворах [Olukayode Fatoki и др., 2026: 133; Qutlimurotova и др., 2026: 103540; Yang и др., 2024: 103540: 309–321; Knapik и др., 2023:6628; Alera и др., 2024: 52]

| Метод                    | Рекомендуемое содержание $\text{Li}^{+}$ в рассоле, мг/л | Материалы                                                                                                                                    | Показатели извлечения                                                                                                      | Преимущества метода                                                                                                                            | Ограничения метода                                                                                                        |
|--------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Адсорбция                | >100                                                     | $\text{MnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ , сита на основе марганца и титана, оксиды, легированные Al, композиты, модифицированные полимерами | Емкость: 20–50 мг/г; степень извлечения 20–80 %.                                                                           | Высокая селективность по отношению к ионам $\text{Li}^{+}$ при низких концентрациях $\text{Li}^{+}$ , экологичность, возможность автоматизации | Снижение сорбционной способности, высокая стоимость сорбента, восприимчивость к примесям                                  |
| Экстракция растворителем | 300 - 7000                                               | Фосфорорганические реагенты, Суапех 272, краун-эфиры, ионные жидкости                                                                        | Степень извлечения 90–97 %, для сырья с концентрацией лития ниже 100–150 мг/л часто требуется предварительная концентрация | Высокая селективность                                                                                                                          | Предварительная очистка рассола от примесей; деградация растворителя; коррозия оборудования, загрязнение окружающей среды |
| Мембранное разделение    | 50 - 500                                                 | Нанофильтрация, электролиз                                                                                                                   | Коэффициенты разделения $\text{Li}/\text{Mg} > 600$ ; степень извлечения 70–95 %;                                          | Возможность прямого производства $\text{LiOH}$ , модульная масштабируемость                                                                    | Энергоемкость процесса, высокие капитальные и эксплуатационные расходы                                                    |
| Ионный обмен             | >50                                                      | Металлоселективные смолы, Seplite LI-10A, Seplite LI-10A Plus                                                                                | Степень извлечения 95–98 % в средах с высоким содержанием мешающих ионов (кальция и магния)                                | Применимость для растворов с низким содержанием лития                                                                                          | Низкая скорость реакции, высокая стоимость смол, необходимость в дополнительных стадиях очистки                           |

С учетом анализа вышеприведенных данных низкое содержание лития (от 7 до 55 мг/л) в исследованных казахстанских гидроминеральных источниках Западного Казахстана и Кызылординской области даже при максимальных объемах добычи таких вод не позволяют дать оптимистичные прогнозы об экономической целесообразности производства литиевых продуктов.

Обзорные работы [Alera и др., 2024: 52; Murphy и др., 2022: 1008680] существующих процессов извлечения  $\text{Li}$  из соляных озер показали, что такие процессы, как испарительные резервуары и адсор-

бция, уже достигли стадии коммерциализации, а большинство описанных методов извлечения лития из солевых растворов все еще находятся на ранних стадиях разработки и не получили коммерческого распространения.

Отмечены исследовательские пробелы в методах и технологиях извлечения лития [Olukayode Fatoki и др., 2026: 133]: отмечена потребность в новых литий-селективных сорбентах, высокоэффективных и долговечных ионообменных смолах, оптимизации электродных материалов, в оценке влияния процесса извлечения лития на окружающую среду в течение всего жизненного цикла, включая потребление воды, энергии, утилизацию побочных продуктов, также в совершенствовании методов анализа состава рассола в режиме реального времени, мониторинга эффективности экстракции и обнаружения примесей.

### Выводы.

Как следует из проведенного анализа, извлечение лития из водных растворов с низкой концентрацией лития до 55 мг/л, высоким попутным присутствием ионов магния в соотношении к ионам лития от 24,8 до более 400 хоть и технически возможно, часто не является экономически целесообразным из-за высокой стоимости и сложности процесса. Так, водно-солевые растворы с низкой концентрацией лития требуют значительных затрат на извлечение небольшого количества лития, многоступенчатости процесса, таких как адсорбция, экстракция или электролиз, что увеличивает стоимость и сложность производства. Для разбавленных растворов требуется дополнительное концентрирование, что значительно нивелирует углеродную нейтральность всего процесса.

Процесс извлечения лития из водных растворов может привести к образованию отходов и загрязнению окружающей среды. Также высокая стоимость и низкая технологичность в сочетании с соответствующими экологическими проблемами делают большинство новых экстрагентов с растворителями непригодными для большинства природных рассолов.

Рассмотренные в данной работе методы и технологии демонстрируют определенный потенциал и относительную ценность различных источников лития и, вероятно, для получения конкурентоспособной литиевой продукции из казахстанского гидроминерального сырья необходимы более усовершенствованные подходы.

Развитие и оптимизация технологий, новые материалы могут привести к более устойчивой и эффективной добыче лития, необходимого для производства Li-ионных аккумуляторов и других продуктов.

### REFERENCES

- Absametov M.K., Boyarko G.Yu., Dutova E.M., Bolsunovskaya L.M., Itemen N.M., Chensizbaev D.B. (2024). Lithium potential of the mineral resource base of the Republic of Kazakhstan // *News of Tomsk Polytechnic University, Georesource Engineering*, V. 335. No 7. Pp. 141–154 <https://doi.org/10.18799/24131830/2024/7/4674> [in Russ.].
- Alera A.C., Benitez J.P., Fernandez R.J., Pascual C.K., Policarpio F., Lopez E.C. (2024). Recent advances in lithium extraction // *Engineering Proceedings*. 67(1). 52. <https://doi.org/10.3390/engproc2024067052>. [in Eng.]
- Amrita Kumari Jha, Manis Kumar Jha, Anjan Kumari, Sushanta Kumar Sahu, Vinay Kumar, Banshi Dhar Pandey. (2013). Selective separation and recovery of cobalt from leach liquor of discarded Li-ion batteries using thiophosphinic extractant // *Separation and Purification Technology*. 104. 160–166. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2012.11.024>. [in Eng.]
- Boqiang Lin, Jiangnan Li (2026). Spot price fluctuations of battery-grade lithium carbonate and supply chain disruptions: The survival game of new energy enterprises // *Renewable Energy*. Vol. 262. 125372. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2026.125372> [in Eng.]
- Chenglong Shi, Yan Jing, Yongzhong Jia (2016). Solvent extraction of lithium ions by tri-n-butyl phosphate using a room temperature ionic liquid // *Journal of Molecular Liquids*. 215. 640–646. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.01.025>. [in Eng.]
- Inimfon A., Udoetok I., Karoyo Abdalla H., Emmanuel E.U., Edidiong D.A. (2024). Granulation of lithium-ion sieves using biopolymers: A review // *Polymers*. 16(11). 1520. <https://doi.org/10.3390/polym16111520>. [in Eng.]
- Choubey P.K., Chung K.S., Kim M.Seuk, Lee J.Chun, Srivastava R.R. (2017). Advance review on the exploitation of the prominent energy-storage element Lithium. Part II: from sea water and spent lithium ion batteries (LIBs) // *Miner. Eng.* 110. Pp. 104–121. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.04.008>. [in Eng.]
- Mian-ping Zheng, En-yuan Xing, Xue-fei Zhang, Ming-ming Li, Dong Che, Ling-zhong Bu, Jia-huan Han, Chuan-yong Ye. (2023). Classification and mineralization of global lithium deposits and lithium extraction technologies for exogenetic lithium deposits // *China Geology*. Vol. 6. Iss. 4. Pp. 547–566, <https://doi.org/10.31035/cg2023061> [in Eng.]
- Flexer V., Baspineiro C.F., Galli C.I. (2018). Lithium recovery from brines: a vital raw material for green energies with a potential environmental impact in its mining and processing // *Sci. Total Environ.*, 639. 1188–1204. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.223>. [in Eng.]
- Jiang C., Bai S., Li J., Wang M., Zhou Y.; Hou, Y. (2025). Crown Ether-Functionalized Nanofiltration Membranes with High Ions Selectivity for Li<sup>+</sup>/Mg<sup>2+</sup> Separation // *J. Membr. Sci.* Vol. 714. 123372. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2024.123372> [in Eng.]
- Karshyga Z., Yersaiynova A., Yessengazyev A., Orynbayev B., Kvyatkovskaya M., Silachyov I. (2023). Synthesis of manganese oxide sorbent for the extraction of lithium from hydromineral raw materials // *Materials*. 16(24). 7548. <https://doi.org/10.3390/ma16247548>. [in Eng.]
- Karshigina Z.B., Bochevskaya E.G., Abisheva Z.S., Akcil A.U., Kan S.M. (2019). Sorption methods of processing of hydromineral lithium raw material of Kazakhstan // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 4(436). 172–180. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.112>. [in Eng.]

- Kim S., Kim J., Kim S., Lee J., Yoon J. (2018). Electrochemical lithium recovery and organic pollutant removal from industrial wastewater of a battery recycling plant // *Environ. Sci. Technol. Lett.*, №4. <https://doi.org/10.1039/c7ew00454k>. [in Eng.]
- Knapik E., Rotko G., Marszałek M. (2023). Recovery of lithium from oilfield brines—Current achievements and future perspectives: A mini review // *Energies*. 16. 6628. <https://doi.org/10.3390/en16186628>. [in Eng.]
- Labert J., Avila-Rodriguez M., Durand G., Rakib M. (2006). Separation of sodium ions from trivalent chromium by electrodialysis using monovalent cation selective membranes // *Journal of Membrane Science*. 280. 219–225. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2006.01.021>. [in Eng.]
- Murphy O., Haji M.N. (2022). A review of technologies for direct lithium extraction from low Li<sup>+</sup> concentration aqueous solutions // *Frontiers in Chemical Engineering*. 4. 1008680. <https://doi.org/10.3389/fceng.2022.1008680>. [in Eng.]
- Murtazin E.Zh., Adenova D.K., Tazhiev S.R. (2025). Hydrogeochemical features of the formation of lithium-bearing brines of the Shu-Sarysu depression // *Izdenister, Natizheler — Research, Results*. 3 (107). 464-472. <https://doi.org/10.37884/3-2025/44>. [in Russ.].
- Nathanial J. Cooper, Boreum Lee, Sohun K. Patel, Li Wang, Paul Westerhoff, Menachem Elimelech. (2025). Viability assessment of lithium recovery from unconventional saline water sources // *Desalination*. 614. 119156. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2025.119156>. [in Eng.]
- Olukayode Fatoki, Santosh Kumar Parupelli, Manpreet Kaur, Alex Mathew, Amir Rehmat, Salil Desai (2026). Review of Direct Lithium Extraction Methods: Recent Advances and Outlook // *Batteries*. 12(4). 133. <https://doi.org/10.3390/batteries12040133> [in Eng.]
- Quinby-Hunt M.S., Turehian K.K. (1983). Distribution of elements in seawater // *EOS, Trans.Am.Geophys Union*. 64. 130. <https://doi.org/10.1029/EO064i014p00130>. [in Eng.]
- QiuY., Ruan H., Tang C., YaoL., Shen J., Sotto A. (2019). Study on recovering high-concentration lithium salt from lithium-containing wastewater using a hybrid reverse osmosis (RO)–electrodialysis (ED) process // *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 7. 13481-13490. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b03108>. [in Eng.]
- Qutlimurotova N., Akhmedova U., Tuyeva O., Yakhshiyeva Z., Ashirov M., Razzokov J., Abyzbekova G. (2026). Efficient extraction of lithium ions from brine: A sustainable approach // *Results in Chemistry*. Vol. 28. 103540. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2026.103540> [in Eng.]
- Sanjuan B., Gourcerol B., Millot R., Rettenmaier D., Jeandel E., Rombaut A. (2022). Lithium-rich geothermal brines in Europe: An update about geochemical characteristics and implications for potential Li resources // *Geothermics* 101. 102385. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2022.102385> [in Eng.]
- Sifani Zavahir, Tasneem Elmakki, Mona Gulied, Zubair Ahmad, Leena Al-Sulaiti, Ho Kyong Shon, Yuan Chen, Hyunwoong Park, Bill Batchelor, Dong Suk Han. (2021). A review on lithium recovery using electrochemical capturing systems // *Desalination*. 500. 114883. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114883>. [in Eng.]
- Somrani A., Hamzaoui A., Pontie M. (2013). Study on lithium separation from salt lake brines by nanofiltration (NF) and low pressure reverse osmosis (LPRO). *Desalination*. 317. 184–192. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.03.009> [in Eng.]
- Stringfellow W.T., Dobson P.F. (2021). Technology for the recovery of lithium from geothermal brines // *Energies* 14. 6805. <https://doi.org/10.3390/en14206805> [in Eng.]
- Sun S.Y., Cai L.-J., Nie X.Y., Song X., Yu J.G. (2015). Separation of magnesium and lithium from brine using a desal nanofiltration membrane // *Water Process. Eng.* 7. 210–217. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2015.06.012> [in Eng.]
- Swain B. (2017) Recovery and recycling of lithium: A review // *Sep. Purif. Technol.* 172. 388–403. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.08.031> [in Eng.]
- Xifan Li, Xin Li, Guijing Chen, Hui Li, Yi Duan, Yu Sun, Alberto Tiraferri, Baicang Liu. (2025). Efficient recovery of lithium from spent lithium-ion battery raffinate by Mn and Al-based adsorbents: pretreatment, adsorption mechanism, and performance comparison // *Separation and Purification Technology*. 354. 1. 128652. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.128652>. [in Eng.]
- Yang S., Wang Y., Pan H., He P., Zhou H. (2024). Lithium Extraction from Low-Quality Brines. // *Nature*. 636. 309–321. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08117-1> [in Eng.]
- Yu D., Xiaotian Zh., Jing S., Shumin W., Zhongwei Zh., Wenhua X., Guoxing R., Yongli L., Dongfu L. (2025). Porous manganese-based ion sieve for sustainable lithium extraction from brine: High-efficiency adsorption and rapid kinetics // *Desalination*. 614. 119168. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2025.119168> [in Eng.]

**Нурмухамбетова Бахыт Исахановна** — разработка концепции, интерпретация результатов, подготовка и редактирование текста.

**Муртазин Ермек Жамшитович** — научное руководство и редактирование текста.

**Тажиев Султан Рысниязович** — проведение полевых исследований, обработка полученных экспериментальных данных.

**Акынбаева Мадина Жакыпжановна** — подготовка иллюстраций.



*A. Tangirbergenova, K. Kaliyeva, Sh. Kapar, Zh. Zhakupova\**  
Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan.  
E-mail: [zhakupova.zhanar@kaznaru.edu.kz](mailto:zhakupova.zhanar@kaznaru.edu.kz)

## EFFICIENCY OF PHYSICOCHEMICAL METHODS FOR IMPROVING WELL WATER QUALITY

**Tangirbergenova Altynay**, Doctoral student of the Department «Water Resources and Melioration», Republic of Kazakhstan, 050026, Almaty

E-mail: [521308@kaznaru.edu.kz](mailto:521308@kaznaru.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0006-7275-2895>;

**Kaliyeva Karlygash**, PhD, Senior lecturer of the Department «Water Resources and Melioration», Republic of Kazakhstan, 050005, Almaty, Mynbaev str., 98

E-mail: [karlygash.kaliyeva@kaznaru.edu.kz](mailto:karlygash.kaliyeva@kaznaru.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0001-5723-2644>;

**Kapar Shekarban**, PhD, Kazakh National Agrarian Research University, Republic of Kazakhstan, 050026, Almaty, Abaya str., 8a

E-mail: [kapar.sh@kaznaru.edu.kz](mailto:kapar.sh@kaznaru.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0001-9334-013X>;

**Zhakupova Zhanar**, PhD, Senior lecturer of the Department «Water Resources and Melioration», Republic of Kazakhstan, 050026, Almaty, microdistrict 9, 39

E-mail: [zhakupova.zhanar@kaznaru.edu.kz](mailto:zhakupova.zhanar@kaznaru.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-4933-762X>.

**Abstract.** Well water is widely used as a primary source of drinking water in rural and remote settlements. However, the quality of such water often does not meet sanitary and hygienic standards due to the presence of dissolved iron, manganese, nitrates, and microbiological contaminants. In this regard, the application of effective technologies for sanitary purification is required to ensure the safety of well water for human consumption. The aim of this study is to evaluate the effectiveness of technologies for the sanitary treatment of well water using physicochemical methods. The research analyzes modern approaches to groundwater treatment and considers the possibilities of their application for improving the quality of well water. Particular attention is paid to such methods as coagulation, filtration, and adsorption, which allow the removal of suspended solids, dissolved impurities, and organic contaminants. The results of the analysis show that the efficiency of water treatment technologies depends on the nature and concentration of pollutants as well as on the specific conditions of the treatment process. The combined use of physicochemical methods significantly reduces the concentration of contaminants and improves the sanitary quality of water. The study concludes that the application of integrated treatment technologies can effectively improve the quality of well water and ensure its compliance with drinking water safety requirements. The obtained results may be used in the development of local water treatment systems for rural settlements and individual water supply sources. In addition, the study revealed that the applied technologies are economically efficient and accessible for use in rural areas. The proposed methods make it possible to organize local water treatment systems and contribute to solving the problem of providing the population with safe drinking water.

**Keywords:** well water, water treatment, physicochemical methods, coagulation, adsorption, drinking water quality, groundwater

**For citation:** Tangirbergenova A., Kaliyeva K., Kapar Sh., Zhakupova Zh. (2026). Efficiency of Physicochemical Methods for Improving Well Water Quality // Research, results – Изденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 191–199. <https://doi.org/10.37884/4-2026/15> [In Kaz.]

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

**Acknowledgements.** *The authors would like to thank the representatives of the local population of the village of Marzhanbulak in the Alginsky district of the Aktobe region for their assistance in conducting research and the specialists who provided support in conducting laboratory analysis.*

**Funding:** *The study was carried out at the expense of the authors' personal funds.*

**A.C. Тангирбергенова, К.Е. Калиева, Ш.К. Капар, Ж.З. Жакупова\***

Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: zhakupova.zhanar@kaznaru.edu.kz

## ҚҰДЫҚ СУЫНЫҢ САПАСЫН ЖАҚСARTУДА ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРДІҢ ТИІМДІЛІГІ

**Тангирбергенова Алтынай Сабитқызы**, «Су ресурстары және мелиорация» кафедрасының докторанты, 050026, Алматы, Қазақстан

E-mail: 521308@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-7275-2895>;

**Калиева Карлыгаш Есимовна**, PhD, «Су ресурстары және мелиорация» кафедрасының аға оқытушысы, 050005, Мыңбаев көш, 98, Алматы, Қазақстан

E-mail: karlygash.kaliyeva@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5723-2644>;

**Капар Шекарбань**, PhD, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, 050026, Абай көш., 8а, Алматы, Қазақстан

E-mail: kapar.sh@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0001-9334-013X>;

**Жакупова Жанар Зиядовна**, PhD, «Су ресурстары және мелиорация» кафедрасының аға оқытушысы, 050026, Алматы, 9 шағын ауданы, 39, Қазақстан

E-mail: zhakupova.zhanar@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-4933-762X>.

**Аннотация.** Құдық сулары ауылдық және шалғай елді мекендерде ауыз сумен қамтамасыз етудің негізгі көздерінің бірі болып табылады. Алайда мұндай судың сапасы көбінесе санитарлық-гигиеналық талаптарға сәйкес келмейді, себебі оның құрамында темір, марганец, нитраттар сияқты еріген қосылыстар және микробиологиялық ластағыштар кездеседі. Осыған байланысты құдық суын қауіпсіз пайдалану үшін оны тиімді санитарлық тазарту технологияларын қолдану қажет. Зерттеудің мақсаты – құдық суын физика-химиялық әдістер арқылы санитарлық тазарту технологияларының тиімділігін бағалау. Зерттеу барысында жерасты суларын тазартудың заманауи тәсілдері талданып, олардың құдық суының сапасын жақсартуда қолдану мүмкіндіктері қарастырылды. Әсіресе коагуляция, сүзу және адсорбция әдістерінің ластаушы заттарды, еріген қоспаларды және органикалық заттарды жоюдағы тиімділігіне ерекше назар аударылды. Зерттеу нәтижелері су тазарту технологияларының тиімділігі ластаушы заттардың табиғатына, олардың концентрациясына және қолданылатын әдістердің ерекшеліктеріне байланысты екенін көрсетті. Физика-химиялық әдістерді кешенді түрде қолдану судың құрамындағы зиянды заттардың мөлшерін айтарлықтай азайтып, оның санитарлық көрсеткіштерін жақсартуға мүмкіндік береді. Зерттеу қорытындысы бойынша құдық суын тазартудың біріктірілген технологияларын қолдану оның сапасын арттыруға және ауыз су қауіпсіздігі талаптарына сәйкестігін қамтамасыз етуге мүмкіндік беретіні анықталды. Алынған нәтижелер ауылдық елді мекендердегі жергілікті су тазарту жүйелерін дамытуда қолданылуы мүмкін. Сонымен қатар зерттеу барысында қолданылған технологиялардың ауылдық аймақтар жағдайында экономикалық тұрғыдан тиімді және пайдалану жағынан қолжетімді екені анықталды. Ұсынылған әдістер жергілікті деңгейде шағын су тазарту жүйелерін ұйымдастыруға мүмкіндік береді және халықты қауіпсіз ауыз сумен қамтамасыз ету мәселесін шешуге ықпал етеді.

**Түйін сөздер:** құдық суы, су тазарту, физика-химиялық әдістер, коагуляция, адсорбция, ауыз су сапасы, жерасты сулары

**Дәйексөз үшін:** Тангирбергенова А.С., Калиева К.Е., Капар Ш.К., Жакупова Ж.З. (2026). Құдық суының сапасын жақсартуға физика-химиялық әдістердің тиімділігі // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 191–199. <https://doi.org/10.37884/4-2026/15> [In Kaz.]

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

**Алғыс.** Авторлар зерттеу жұмысына қолдау көрсеткен әріптестеріне және зертханалық талдау жүргізуге көмектескен мамандарға алғыс білдіреді. Сонымен қатар зерттеу барысында құндық суының үлгілерін алуға мүмкіндік жасаған Ақтөбе облысы Алға ауданы Маржанбұлақ ауылының тұрғындарына ризашылықтарын білдіреді.

**Қаржыландыру:** зерттеу жұмысы авторлардың жеке қаражаты есебінен орындалды.

**А.С. Тангирбергенова, К.Е. Калиева, Ш.К. Капар, Ж.З. Жакупова\***

Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан.

E-mail: zhakupova.zhanar@kaznaru.edu.kz

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА КОЛОДЕЗНОЙ ВОДЫ

**Тангирбергенова Алтынай Сабитқызы**, докторант кафедры «Водные ресурсы и мелиорация», 050026, Алматы, Казахстан

E-mail: 521308@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-7275-2895>;

**Калиева Карлыгаш Есимовна**, PhD, старший преподаватель кафедры «Водные ресурсы и мелиорация», 050005, ул. Мынбаева, 98, Алматы, Казахстан

E-mail: karlygash.kaliyeva@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5723-2644>;

**Капар Шекарбань**, PhD, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, 050026, ул. Абая, 8а, Алматы, Казахстан

E-mail: kapar.sh@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0001-9334-013X>;

**Жакупова Жанар Зиядовна**, PhD, старший преподаватель кафедры «Водные ресурсы и мелиорация», 050026, микрорайон 9/ 39, Алматы, Казахстан

E-mail: zhakupova.zhanar@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-4933-762X>.

**Аннотация.** Колодезная вода широко используется в сельских и отдалённых населённых пунктах в качестве основного источника питьевого водоснабжения. Однако качество такой воды часто не соответствует санитарно-гигиеническим требованиям из-за присутствия растворённых соединений железа, марганца, нитратов и микробиологических загрязнений. В связи с этим возникает необходимость применения эффективных технологий санитарной очистки воды, обеспечивающих её безопасность для потребления. Целью исследования является оценка эффективности технологий санитарной очистки колодезной воды с использованием физико-химических методов. В работе проведён анализ современных методов очистки подземных вод и рассмотрены возможности их применения для улучшения качества колодезной воды. Особое внимание уделено таким методам, как коагуляция, фильтрация и адсорбция, которые позволяют удалять взвешенные вещества, растворённые примеси и органические загрязнения. Результаты анализа показали, что эффективность технологий очистки зависит от состава и концентрации загрязняющих веществ, а также от условий применения методов очистки. Комплексное использование физико-химических методов способствует значительному снижению содержания загрязняющих веществ и улучшению санитарных показателей воды. В ходе исследования установлено, что применение комбинированных технологий очистки позволяет повысить качество колодезной воды и обеспечить её соответствие требованиям безопасности питьевой воды. Полученные результаты могут быть использованы при разработке локальных систем водоподготовки для сельских населённых пунктов и индивидуальных источников водоснабжения. Кроме того, в ходе исследования установлено, что применяемые технологии являются экономически эффективными и доступными для использования в условиях сельских территорий. Предложенные методы позволяют организовать локальные системы очистки воды и способствуют решению проблемы обеспечения населения безопасной питьевой водой.

**Ключевые слова:** колодезная вода, очистка воды, физико-химические методы, коагуляция, адсорбция, качество питьевой воды, подземные воды

**Для цитирования:** Тангирбергенова А.С., Калиева К.Е., Капар Ш.К., Жакупова Ж.З. (2026). Эффективность физико-химических методов улучшения колодезной воды // Research, results – Із-

деністер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 191–199. <https://doi.org/10.37884/4-2026/15> [In Kaz.]

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Благодарность.** Авторы выражают благодарность представителям местного населения села Маржанбулак Алгинского района Актюбинской области за содействие в проведении исследовательской работы и специалистам, оказавшим поддержку в проведении лабораторного анализа.

**Финансирование:** исследование выполнено за счет личных средств авторов.

### Кіріспе.

Қазіргі уақытта ауыз су қауіпсіздігі экологиялық және санитарлық тұрғыдан маңызды мәселелердің бірі болып табылады. Әсіресе ауылдық аймақтарда халықтың едәуір бөлігі орталықтандырылған сумен жабдықтау жүйесіне қол жеткізе алмай, құдық суын негізгі ауыз су көзі ретінде пайдаланады. Құдық сулары табиғи геологиялық қабаттар арқылы сүзілгенімен, олардың құрамында түрлі химиялық және биологиялық ластаушы заттардың болуы жиі кездеседі. Ауыл шаруашылығында минералдық тыңайтқыштардың кеңінен қолданылуы, тұрмыстық қалдықтардың топыраққа сіңуі, сондай-ақ жер асты суларының табиғи минералдық құрамының ерекшеліктері су сапасының төмендеуіне әсер етеді. Нәтижесінде құдық суларының құрамында нитраттар, темір, марганец, аммоний иондары және органикалық қосылыстар сияқты компоненттердің мөлшері артып, бұл ауыз су қауіпсіздігіне қауіп төндіруі мүмкін. Сондықтан құдық суын санитарлық-гигиеналық талаптарға сәйкес деңгейге жеткізу үшін тиімді тазарту технологияларын қолдану қажеттілігі туындайды. Соңғы жылдары ауыз суды тазарту мәселесі ғылыми зерттеулерде кеңінен қарастырылып келеді, себебі сапалы ауыз су адамның денсаулығын сақтауда, инфекциялық аурулардың алдын алуда және жалпы өмір сапасын арттыруда шешуші рөл атқарады [Tlesh, 2025; Novikova, 2017; Hummedov, 2020].

Жер асты суларының ластану мәселесі әлемдік деңгейде маңызды экологиялық проблемалардың бірі ретінде қарастырылады [Akhmedov, 2019; Ivanov, 2020]. Көптеген зерттеулер жер асты суларының құрамында темір, марганец, нитраттар, ауыр металдар және әртүрлі органикалық қосылыстардың кездесетінін көрсетеді. Мұндай ластаушылардың мөлшері рұқсат етілген шекті концентрациядан асып кеткен жағдайда суды тікелей пайдалану адам денсаулығына айтарлықтай қауіп төндіреді. Мысалы, нитраттардың жоғары мөлшері метгемоглобинемия сияқты аурулардың пайда болуына себеп болуы мүмкін, ал темір мен марганецтің артық мөлшері судың дәмі мен түсінің өзгеруіне әкеліп, оның санитарлық сапасын төмендетеді. Осыған байланысты жер асты суларының сапасын жақсарту үшін су тазарту технологияларын жетілдіру және олардың тиімділігін ғылыми тұрғыдан бағалау ерекше өзектілікке ие.

Соңғы ғылыми зерттеулер құдық суын тазартуда физикалық-химиялық әдістердің тиімділігі жоғары екенін көрсетеді. Мұндай әдістерге коагуляция, адсорбция, аэрация, сүзу және ион алмасу процестері жатады. Бұл технологиялар судың құрамындағы еріген химиялық қосылыстарды азайтып, оның санитарлық қауіпсіздігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар физикалық-химиялық тәсілдер салыстырмалы түрде қарапайым құрылғыларды қолдануға мүмкіндік беретіндіктен, оларды ауылдық аймақтарда пайдалану тиімді болып саналады. Осы зерттеу құдық суын тазарту технологияларының тиімділігін ғылыми тұрғыдан талдауға бағытталған [Al-Hashimi, 2019].

Зерттеу нысаны ретінде құдық суының санитарлық сапасы қарастырылса, зерттеу пәні ретінде физикалық-химиялық әдістер арқылы суды тазарту процестері алынды.

Жұмыстың негізгі мақсаты – құдық суын физикалық-химиялық әдістермен санитарлық тазарту технологияларының тиімділігін анықтау және олардың практикалық қолдану мүмкіндіктерін талдау. Осы мақсатқа жету үшін ғылыми әдебиеттерге талдау жүргізу, физикалық-химиялық әдістердің ерекшеліктерін қарастыру және олардың су сапасына әсерін бағалау міндеттері қарастырылды [Rubel, 2021; Sombe, 2022].

### Материалдар мен зерттеу әдістері.

Зерттеу барысында негізгі нысан ретінде ауылдық аймақтарда пайдаланылатын құдық сулары қарастырылды. Зерттеу материалы ретінде құдық суының физикалық және химиялық көрсеткіштері, атап айтқанда судың түсі, лайлылығы, темір, марганец, нитраттар және органикалық қосылыстардың мөлшері туралы деректер пайдаланылды. Аталған көрсеткіштер су сапасының санитарлық жағдайын бағалауда маңызды индикаторлар болып табылады.

Зерттеу әдістемесі бірнеше ғылыми тәсілдерге негізделді. Алдымен ғылыми әдебиеттерді талдау әдісі қолданылды. Бұл әдіс арқылы су тазарту технологиялары бойынша отандық және шетелдік ғылыми еңбектер қарастырылып, олардың нәтижелері жүйелендірілді. Сонымен қатар салыстырмалы талдау әдісі қолданылып, әртүрлі физика-химиялық әдістердің тиімділігі бағаланды. Талдау барысында коагуляция, аэрация, сүзу және адсорбция әдістерінің су құрамындағы ластаушы заттарды жою деңгейі қарастырылды [Shrestha, 2020].

Зерттеу барысында тәжірибелік модельдеу тәсілі де пайдаланылды. Бұл тәсіл құдық суын тазарту процесін зертханалық жағдайда модельдеуге мүмкіндік берді. Тәжірибелер Ақтөбе облысы Алға ауданы Маржанбұлақ ауылынан алынған су үлгілері негізінде жүргізілді. Әрбір тәжірибе үш рет қайталанып, алынған нәтижелердің орташа мәні есептелді.

Судың құрамындағы темірді азайту мақсатында аэрация және механикалық сүзу әдістерінің тиімділігі зерттелді. Сонымен қатар адсорбциялық сүзгілер арқылы нитраттар мен органикалық қосылыстардың концентрациясының төмендеуі талданды [Grzegorzek, 2018].

Коагуляция процесінде реагент ретінде алюминий сульфаты ( $Al_2(SO_4)_3$ ) қолданылды, оның дозасы 40–60 мг/л аралығында болды. Коагуляция процесінің тиімділігін арттыру үшін судың рН мәні 6,5–7,5 деңгейінде ұсталды, ал араластыру уақыты 10–15 минутты құрады.

Адсорбция процесінде адсорбент ретінде белсендірілген көмір (БАУ-А маркасы) пайдаланылды. Сүзу жылдамдығы 5–7 м/сағ құрады. Адсорбциялық сүзгілер нитраттар мен органикалық қосылыстарды жоюда қолданылды. Зерттеуде адсорбция (қатты фазада сіңіру) процесі пайдаланылды.

Алынған нәтижелерді өңдеу барысында статистикалық талдау әдістері қолданылды. Бұл әдістер су сапасы көрсеткіштерінің өзгеру динамикасын анықтауға мүмкіндік берді. Нәтижелердің сенімділігін арттыру мақсатында әртүрлі тазарту әдістерінің көрсеткіштері салыстырылып, олардың тиімділігі пайыздық көрсеткіштер арқылы бағаланды.

Осы әдістемелік тәсілдер құдық суын физика-химиялық әдістер арқылы тазарту технологияларының санитарлық тиімділігін кешенді түрде бағалауға мүмкіндік берді.

### Зерттеу нәтижелері.

Жүргізілген зерттеу барысында құдық суын тазарту технологияларының тиімділігі тәжірибелік деректер негізінде бағаланды. Зерттеу нәтижелері физика-химиялық әдістердің жер асты суларының сапасын жақсартуда жоғары тиімділікке ие екенін көрсетті.

Су тазарту процесінің тиімділігін бағалау үшін тазарту тиімділігі коэффициенті қолданылды. Тазарту тиімділігі (1) формула бойынша есептелді.

$$E = \frac{C_0 - C}{C_0} * 100\% \quad (1)$$

мұнда:

$E$  – тазарту тиімділігі, %;

$C_0$  – ластаушы заттың бастапқы концентрациясы, мг/л;

$C$  – тазартудан кейінгі концентрациясы, мг/л.

Бұл формула су тазарту әдістерінің тиімділігін сандық тұрғыдан бағалауға мүмкіндік береді [Paul, 2023; Zhang, 2021].

Зерттеу жұмыстары Ақтөбе облысы Алға ауданы Маржанбұлақ ауылындағы құдық су көздерінде жүргізілді. Алғашқы кезеңде судың бастапқы физика-химиялық құрамы зертханалық талдау арқылы анықталды. Нәтижелер көрсеткендей, су құрамындағы кейбір көрсеткіштер ауыз суға қойылатын санитарлық нормалардан жоғары болды.

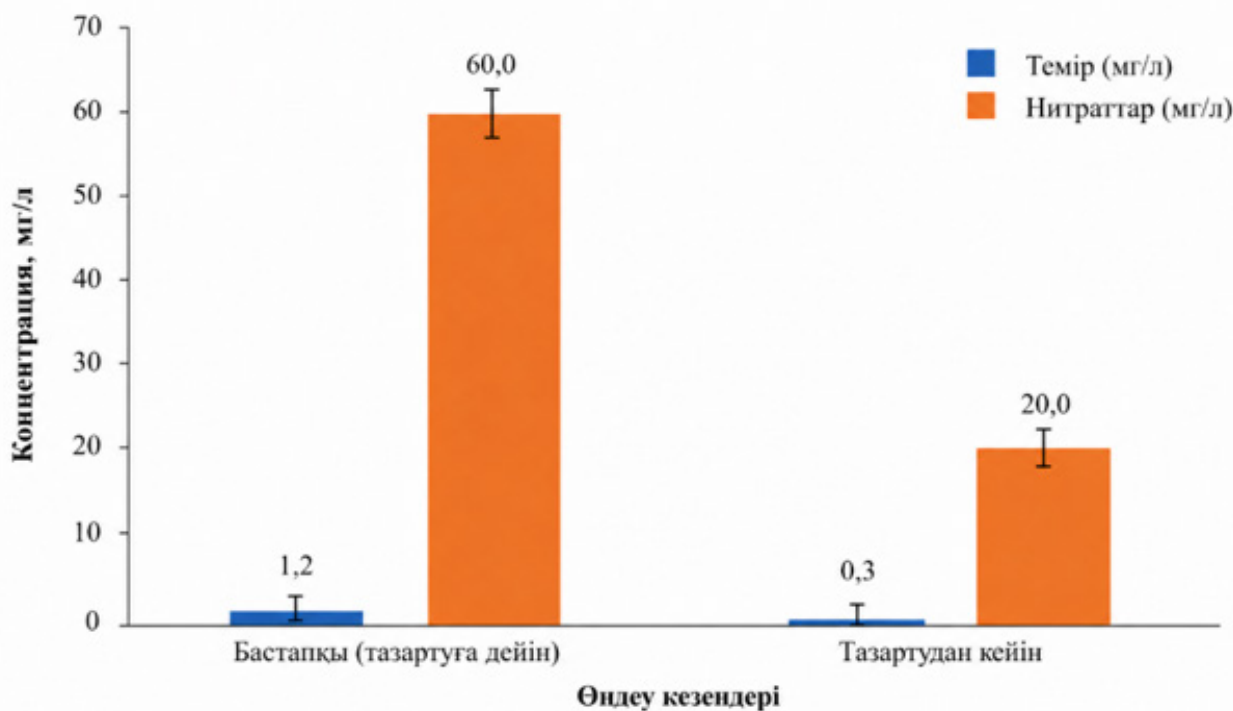
Құдық суының физика-химиялық көрсеткіштерінің өзгерісі 1-кестеде көрсетілген.

Кесте 1. Құдық суының физика-химиялық көрсеткіштерінің өзгеруі

| Көрсеткіш       | Бастапқы мәні | Тазартудан кейін | Санитарлық норма |
|-----------------|---------------|------------------|------------------|
| Темір, мг/л     | 1,2           | 0,3              | 0,3              |
| Нитраттар, мг/л | 60            | 20               | 45               |
| Лайлылық, мг/л  | 20            | 5                | 10               |

Кестеде көрсетілгендей, физика-химиялық әдістерді қолдану нәтижесінде судың құрамындағы лаптаушы заттардың мөлшері айтарлықтай төмендеген.

Коагуляция және механикалық сүзу әдістерін қолдану арқылы темір концентрациясы 1,2 мг/л-ден 0,3 мг/л-ге дейін төмендеді. Бұл көрсеткіш ауыз суға қойылатын санитарлық талаптарға сәйкес келеді. Сонымен қатар адсорбциялық сүзгілерді қолдану нәтижесінде нитраттардың концентрациясы 60 мг/л-ден 20 мг/л-ге дейін азайды. Нитраттарды жою қатты фазада сіңіруге негізделген адсорбция процесі арқылы жүзеге асырылды. Әдеби деректерге сәйкес белсендірілген көмір (БАУ-А) нитраттарды тиімді сіңіретін адсорбенттердің бірі болып табылады.



Сур. 1. Құдық суындағы темір және нитраттар концентрациясының тазартуға дейінгі және кейінгі өзгерісі (n = 3, орташа мән ± σ).

[Fig. 1. Changes in iron and nitrate concentrations in well water before and after treatment (n = 3, mean value ± σ)].

Графикте құдық суындағы темір мен нитраттардың концентрациясының тазартуға дейінгі және кейінгі мәндері салыстырмалы түрде көрсетілген. X осі өңдеу кезеңдерін (бастапқы және тазартудан кейінгі жағдай), ал Y осі зерттелген көрсеткіштердің концентрациясын (мг/л) сипаттайды. Әрбір мән үш рет қайталанған тәжірибелердің орташа нәтижесі ретінде берілген.

1-суреттен көрініп тұрғандай, қолданылған физика-химиялық әдістер нәтижесінде темір мен нитраттардың концентрациясы айтарлықтай төмендеген. Бұл көрсеткіштер коагуляция, сүзу және адсорбция әдістерінің тиімділігін дәлелдейді. Коагуляция және сүзу әдістері темір мөлшерін азайтуда жоғары нәтиже көрсетсе, адсорбциялық сүзгілер нитраттар мен органикалық қосылыстарды жоюда тиімді болып табылады.

Зерттеу нәтижелері физика-химиялық әдістерді кешенді түрде қолдану құдық суының санитарлық көрсеткіштерін жақсартып, оны тұрмыстық және ауыз су мақсатында қауіпсіз пайдалануға мүмкіндік беретінін көрсетті. Мұндай технологиялар ауылдық аймақтарда қолдануға қолайлы, себебі олардың құрылымы қарапайым және салыстырмалы түрде аз энергия талап етеді.

### Талқылау.

Су тазарту технологияларын қолдану қазіргі жағдайда тек санитарлық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің құралы ғана емес, сонымен қатар экологиялық тұрақтылықты сақтаудың маңызды элементі болып табылады. Әсіресе ауылдық аймақтарда тұрғындар көбінесе құдық немесе бұлақ суларын пайдаланатындықтан, олардың сапасын тұрақты бақылау және тиімді тазарту әдістерін қолдану ерекше маңызға ие. Құдық суын тиімді тазарту табиғи су ресурстарын ұтымды пайдалануға мүмкіндік береді, өйткені жер асты сулары ұзақ уақыт бойы қалыптасатын стратегиялық экологиялық ресурс болып табылады.

Жүргізілген зерттеу нәтижелері физика-химиялық әдістердің құдық суының сапасын жақсартуда жоғары тиімділік көрсететінін дәлелдеді. Коагуляция, сүзу және адсорбция сияқты әдістерді кешенді түрде қолдану су құрамындағы химиялық және механикалық ластаушылардың концентрациясын айтарлықтай төмендетеді. Коагуляция процесі ұсақ коллоидтық бөлшектерді ірі агрегаттарға біріктіріп, олардың тұндыру арқылы судан бөлінуіне мүмкіндік береді. Сүзу әдісі механикалық бөлшектерді ұстап қалып, судың мөлдірлігін арттырады. Ал адсорбция әдісі еріген химиялық қосылыстар мен органикалық заттарды сіңіру арқылы судың химиялық құрамын тұрақтандырады.

Зерттеу нәтижелерін талдау барысында физика-химиялық әдістерді кешенді түрде қолдану тазарту тиімділігін арттыратыны анықталды. Мысалы, коагуляция және сүзу әдістерін қолдану арқылы темір концентрациясы 1,2 мг/л-ден 0,3 мг/л-ге дейін төмендеді, ал адсорбциялық сүзгілер нитрат мөлшерін 60 мг/л-ден 20 мг/л-ге дейін азайтуға мүмкіндік берді. Бұл көрсеткіштер қолданылған технологиялардың құдық суының санитарлық сапасын жақсартуда тиімді екенін көрсетеді.

Сонымен қатар бұл технологиялардың маңызды артықшылықтарының бірі – олардың салыстырмалы түрде қарапайым және экономикалық тұрғыдан тиімді болуы. Мұндай жүйелер күрделі инфракұрылымды немесе үлкен энергетикалық шығындарды қажет етпейді, сондықтан оларды ауылдық аймақтарда қолдану қолайлы болып табылады. Осылайша физика-химиялық әдістерді қолдану құдық суының сапасын жақсартып қана қоймай, ауылдық тұрғындардың өмір сапасын арттыруға және халықтың денсаулығын қорғауға ықпал етеді.

Алынған нәтижелерді басқа зерттеулермен салыстыру көрсеткендей, адсорбция әдісі нитраттарды жоюда жоғары тиімділікке ие екені белгілі. Әдеби деректерде белсендірілген көмір негізінде-гі сүзгілердің нитраттарды 40–70 % дейін төмендетуге қабілетті екені көрсетілген. Бұл біздің зерттеу нәтижелерімен сәйкес келеді және қолданылған әдістердің сенімділігін дәлелдейді.

### **Қорытынды.**

Жүргізілген ғылыми зерттеу нәтижелері құдық суын физика-химиялық әдістер арқылы санитарлық тазарту технологиялары ауылдық аймақтардағы ауыз су сапасын жақсартудың тиімді, экологиялық қауіпсіз және практикалық тұрғыдан қолжетімді тәсілдерінің бірі екенін көрсетті. Қазіргі таңда әлемнің көптеген елдерінде, соның ішінде Қазақстанның ауылдық өңірлерінде халықтың едәуір бөлігі орталықтандырылған сумен жабдықтау жүйесіне толық қосылмаған. Осындай жағдайларда тұрғындар ауыз су қажеттілігін қамтамасыз ету үшін жер асты су көздерін, әсіресе құдық суларын кеңінен пайдаланады. Құдық сулары табиғи сүзгілеу процестері арқылы қалыптасқанымен, олардың санитарлық жағдайы әрдайым талапқа сай бола бермейді. Жер асты суларының құрамына топырақ қабаттарынан, ауыл шаруашылығы қызметінен, тұрмыстық қалдықтардан және табиғи геохимиялық процестерден әртүрлі химиялық және биологиялық ластаушылар түсуі мүмкін. Соның салдарынан құдық суларында темір, нитраттар, марганец, аммоний иондары, органикалық қосылыстар және микробиологиялық компоненттердің мөлшері жоғарылап, адам денсаулығына қауіп төндіреді.

Зерттеу барысында анықталғандай, құдық суындағы нитраттардың жоғары концентрациясы адам ағзасына кері әсер етеді, әсіресе балалар арасында метгемоглобинемия ауруының пайда болуына себеп болуы мүмкін. Сонымен қатар темір мен марганецтің шамадан тыс мөлшері судың дәмін, иісін және түсін өзгертіп, оның тұрмыстық әрі ауыз су ретінде пайдалануға жарамдылығын төмендетеді. Мұндай жағдайлар құдық суларын міндетті түрде санитарлық тазартудан өткізудің маңыздылығын көрсетеді. Осыған байланысты зерттеу аясында коагуляция, аэрация, механикалық сүзу және адсорбция сияқты физика-химиялық әдістердің тиімділігі тәжірибелік тұрғыдан бағаланды.

Алынған нәтижелер физика-химиялық әдістердің құдық суының сапасын жақсартуда жоғары тиімділікке ие екенін дәлелдеді. Коагуляция процесі ұсақ коллоидтық бөлшектерді ірі агрегаттарға біріктіріп, олардың тұнбаға түсуіне мүмкіндік берді. Бұл өз кезегінде судың лайлылығын азайтып, механикалық сүзу кезеңінің тиімділігін арттырды. Коагуляция барысында алюминий сульфатын қолдану су құрамындағы қалқыма бөлшектердің мөлшерін төмендетуге мүмкіндік берді. Ал аэрация әдісі суда еріген темірдің тотығу процесін жеделдетіп, оны сүзу арқылы бөлуге жағдай жасады. Механикалық сүзу нәтижесінде су құрамындағы қалқыма бөлшектер мен тұнбалар тиімді түрде ұсталып қалды.

Адсорбция процесінде белсендірілген көмірді пайдалану нитраттар мен органикалық қосылыстардың мөлшерін азайтуда жоғары нәтиже көрсетті. Белсендірілген көмірдің кеуекті құрылымы еріген химиялық заттарды тиімді түрде сіңіруге мүмкіндік береді. Тәжірибелік нәтижелер бойынша нитраттардың концентрациясы 60 мг/л-ден 20 мг/л-ге дейін төмендеді, ал темірдің мөлшері 1,2 мг/л-ден

0,3 мг/л-ге дейін азайды. Бұл көрсеткіштер ауыз суға қойылатын санитарлық талаптарға сәйкес келеді және қолданылған технологиялардың тиімділігін дәлелдейді. Сонымен қатар судың лайлылығы айтарлықтай төмендеп, оның органолептикалық қасиеттері жақсарды. Бұл тұрғындардың суды тұрмыстық және ауыз су мақсатында қауіпсіз пайдалануына мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелерін талдау барысында бірнеше физика-химиялық әдістерді кешенді түрде қолдану бір ғана әдісті пайдаланғанға қарағанда әлдеқайда жоғары нәтиже беретіні анықталды. Коагуляция, сүзу және адсорбция процестерінің өзара үйлесімділігі судың физикалық, химиялық және санитарлық көрсеткіштерін бір мезгілде жақсартуға мүмкіндік береді. Сондықтан құдық суын тазартуда кешенді технологиялық жүйелерді қолдану аса маңызды болып табылады. Мұндай тәсілдер тек ластанушы заттардың мөлшерін төмендетіп қана қоймай, су сапасының тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Физика-химиялық әдістердің маңызды артықшылықтарының бірі – олардың салыстырмалы түрде қарапайым және экономикалық жағынан тиімді болуы. Бұл технологиялар күрделі инженерлік инфрақұрылымды, қымбат жабдықтарды немесе үлкен энергия шығындарын қажет етпейді. Сондықтан оларды ауылдық және шалғай аймақтарда қолдану өте қолайлы. Жергілікті деңгейде орнатылатын шағын су тазарту жүйелері халықты қауіпсіз ауыз сумен қамтамасыз етуге мүмкіндік береді және орталықтандырылған сумен жабдықтау жүйесі жоқ елді мекендер үшін тиімді шешім болып саналады. Сонымен қатар мұндай жүйелердің техникалық қызмет көрсетуі салыстырмалы түрде жеңіл, бұл оларды ауылдық жағдайларда пайдалануды ыңғайлы етеді.

Зерттеу жұмысының практикалық маңызы өте жоғары. Алынған нәтижелер ауылдық аймақтардағы жергілікті су тазарту жүйелерін жобалау және жетілдіру барысында қолданылуы мүмкін. Ұсынылған технологиялар тұрғындарды қауіпсіз ауыз сумен қамтамасыз етуге, су арқылы таралатын инфекциялық аурулардың алдын алуға және халық денсаулығын жақсартуға ықпал етеді. Сонымен бірге құдық суларын тиімді тазарту табиғи су ресурстарын ұтымды пайдалануға және экологиялық тұрақтылықты сақтауға мүмкіндік береді. Бұл әсіресе климаттың өзгеруі мен су ресурстары тапшылығы жағдайында ерекше маңызды.

Зерттеу нәтижелері халықаралық ғылыми еңбектерде келтірілген мәліметтермен сәйкес келді. Әдеби деректер бойынша адсорбциялық сүзгілер нитраттарды 40–70% аралығында төмендете алады. Біздің зерттеу барысында алынған нәтижелер де осы көрсеткіштерге жақын болды. Бұл қолданылған әдістердің ғылыми негізділігін және сенімділігін дәлелдейді. Сонымен қатар зерттеу барысында қолданылған технологиялардың ауылдық жағдайларға бейімделгені анықталды, бұл олардың практикалық құндылығын арттырады.

Болашақ зерттеулерде құдық суын тазартудың жаңа технологияларын зерттеу маңызды бағыттардың бірі болып табылады. Әсіресе мембраналық сүзу, ультракүлгін залалсыздандыру, озондау және биологиялық тазарту әдістерін физика-химиялық тәсілдермен біріктіру арқылы су сапасын одан әрі жақсартуға болады. Сонымен қатар әртүрлі табиғи-климаттық жағдайларда физика-химиялық әдістердің тиімділігін салыстырмалы түрде бағалау қажеттілігі сақталады. Бұл зерттеулер су тазарту технологияларын жетілдіруге және олардың санитарлық қауіпсіздігін арттыруға мүмкіндік береді.

Жалпы алғанда, жүргізілген зерттеу құдық суын физика-химиялық әдістер арқылы тазарту технологияларының жоғары тиімділікке ие екенін дәлелдеді. Ұсынылған технологияларды ауылдық елді мекендерде кеңінен енгізу ауыз су сапасын жақсартуға, халық денсаулығын қорғауға, су арқылы таралатын аурулардың алдын алуға және тұрақты су пайдалану жүйесін қалыптастыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар бұл тәсілдер қоршаған ортаны қорғауға, жер асты су ресурстарын тиімді пайдалануға және экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етуге ықпал етеді. Осыған байланысты физика-химиялық әдістерді қолдану қазіргі заманғы су тазарту технологияларының маңызды бағыттарының бірі болып саналады және болашақта олардың қолдану ауқымы кеңейе түседі.

#### REFERENCES

- Ahmed M. & Rahman M. (2019). Iron removal from groundwater using aeration and filtration processes // *Water Science and Technology*. 79(3). 520–528. <https://doi.org/10.2166/wst.2019.050> [in Eng.]
- Akhmedov R. (2019). *Ochistka podzemnykh vod ot zheleza i margantsa. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 8. 24–29. <https://elibrary.ru/item.asp?id=41234567> [in Russ.]
- Al-Hashimi O., Al-Saadi A. & Al-Mansouri M. (2019). Groundwater contamination and treatment technologies: A review. *Journal of Water Process Engineering*. 32. 100932. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100932> [in Eng.]
- Crittenden J., Trussell R., Hand D., Howe K. & Tchobanoglous G. (2016). *Water treatment: Principles and design*. <https://doi.org/10.1002/9781118131473> [in Eng.]
- Grzegorzek M., Wartalska K. & Kaźmierczak B. (2018). Energy consumption in water treatment processes // *Environmental Engineering*

and Management Journal. 17(8). 1861–1870. <https://doi.org/10.30638/eemj.2018.187> [in Eng.]

Gupta V. & Ali I. (2018). Environmental water: Advances in treatment, remediation and recycling. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-03328-7> [in Eng.]

Hummedov G., Akmyradova D. & Abdyeva O. (2020). Groundwater purification technologies using physicochemical methods. Water Resources Management. 34(9). 2875–2886. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02578-1> [in Eng.]

Ivanov V., Petrov S. (2020). Sovremennye metody ochistki pit'evoy vody. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 24(3). 50–55. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-3-50-55> [in Russ.]

Novikova V.A. (2017). Fiziko-khimicheskie metody ochistki vody. — M.: MGU. <https://elibrary.ru/item.asp?id=30500000> [in Russ.]

Paul R., Sharma A. & Singh R. (2023). Innovative technologies for drinking water purification // Science of the Total Environment. 856. 159040. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159040> [in Eng.]

Rubel J., Ahmed S. & Khan M. (2021). Selection of appropriate water treatment technologies for rural water supply systems // Sustainable Water Resources Management. 7(4). 1–12. <https://doi.org/10.1007/s40899-021-00512-7> [in Eng.]

Shannon M., Bohn P., Elimelech M., Georgiadis J., Marinas B. & Mayes A. (2008). Science and technology for water purification in the coming decades. Nature. 452. 301–310. <https://doi.org/10.1038/nature06599> [in Eng.]

Shrestha P. (2020). Integrated approaches in drinking water treatment systems // Journal of Environmental Management. 260. 110104. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110104> [in Eng.]

Sombe D., Ndwandwe O. & Chikodzi D. (2022). Low-cost water treatment technologies for rural communities: A review. Water. 14(5). 745. <https://doi.org/10.3390/w14050745> [in Eng.]

Spellman F. (2017). Handbook of water and wastewater treatment plant operations. <https://doi.org/10.1201/9781315158440> [in Eng.]

Tleshe D., Khalkhabai B., Khoishiev A. & Bayarystanov M. (2025). Shakhta sularyn tiimdi tazartudyn tekhnologiyalyk negizderi // Izdenister natizheler – Issledovaniya, rezultaty. 2(106). 401–409. <https://doi.org/10.37884/2-2025/40> [in Kaz.]

United Nations. (2023). World water development report 2023. — Paris: UNESCO. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2023> [in Eng.]

World Health Organization. (2022). Guidelines for drinking-water quality. Geneva. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064> [in Eng.]

Zhang Y., Li J. & Wang X. (2021). Adsorption technology for groundwater purification // Journal of Cleaner Production. 286. 125400. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125400> [in Eng.]

**Tangirbergenova Altynay** — formal analysis, acquisition of financing, roles/the letter is the initial draft;

**Kaliyeva Karlygash** — investigation, methodology, software;

**Kapar Shekarban** — conceptualization, data curation, administration of the project, supervision;

**Zhakupova Zhanar** — resources, verification, visualization writing – review and editing.



***D.A. Tlesh\*, B. Khalkhabay***

NPJSC K.I. Satbayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: [tlesh.dulat@mail.ru](mailto:tlesh.dulat@mail.ru)

## APPLICATION OF SLOW SAND FILTRATION FOR PROVIDING DRINKING WATER IN SMALL SETTLEMENTS

**Tlesh Dulat Almakhanuly**, Master of Agricultural Sciences, PhD student of the Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev NPJSC, Kazakhstan, Almaty, Satbayev str., 22a

E-mail: [tlesh.dulat@mail.ru](mailto:tlesh.dulat@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2669-902X>;

**Khalkhabay Bostandyk**, Professor, Candidate of Technical Sciences, Kazakh National Research Technical University named after Satpayeva, Kazakhstan, Almaty, Satbayev str., 22a

E-mail: [k.bostandik@mail.ru](mailto:k.bostandik@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9426-8582>.

**Abstract.** Currently, one of the urgent issues in environmental and social terms is the provision of small settlements with high-quality drinking water. The absence or insufficient development of a centralized water supply system in many rural areas of Kazakhstan requires the use of simple, reliable and cost-effective water treatment technologies. One of these technologies is the method of slow sand filtration. The simple structure of this technology, low energy costs and reliability in use make it possible to use it in small settlements. The purpose of this work is to study the design features of the installation of a slow sand filter used to provide drinking water to small settlements, substantiate the methodology of experimental research and analyze the scientific foundations of the use of quartz sand and natural zeolite as filter materials. In the course of the study, two experimental installations of a slow sand filter based on quartz sand and natural zeolite were considered. A layered arrangement of filter materials was formed, and their physico-chemical properties were compared. In order to prepare the installation for experimental studies, the filter materials were pre-washed and hydraulic tests were carried out. The analysis of domestic and foreign scientific literature on the use of slow sand filters in the purification of natural water sources in small settlements is also carried out. As a result of the study, the structure of the experimental installation of a slow sand filter was described, and it was found that it is ready for subsequent comparative studies. An analysis of the literature has shown that the use of quartz sand and natural zeolite as a filter material can improve the physico-chemical and microbiological parameters of water. The results obtained are aimed at forming a scientific and practical basis for the use of slow sand filters in the drinking water supply of small settlements and will serve as the basis for subsequent experimental studies.

**Keywords:** slow sand filter, drinking water, small settlement, biofilm, schmutzdecke, quartz sand, zeolite

**For citation:** Tlesh D.A., Khalkhabay B. (2026). Application of slow sand filtration for providing drinking water in small settlements // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 200–207. <https://doi.org/10.37884/4-2026/16> [In Kaz.]

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

***Д.Ә. Тлеш\*, Б. Халхабай***

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Алматы, Қазақстан.

E-mail: [tlesh.dulat@mail.ru](mailto:tlesh.dulat@mail.ru)

ШАҒЫН ЕЛДІ МЕКЕНДЕРДІ АУЫЗ СУМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ҮШІН БАЯУ ҚҰМДЫ  
СҮЗГІЛЕРДІ ҚОЛДАНУ

**Тлеш Дулат Әлмаханұлы**, ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КеАҚ PhD докторанты, Қазақстан, Алматы, Сәтбаев көш., 22а

E-mail: [tilesh.dulat@mail.ru](mailto:tilesh.dulat@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2669-902X>;

**Халхабай Бостандық**, профессор, техника ғылымдарының кандидаты, «Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Сәтбаев көш., 22а

E-mail: [k.bostandik@mail.ru](mailto:k.bostandik@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9426-8582>.

**Аннотация.** Қазіргі таңда шағын елді мекендерді сапалы ауыз сумен қамтамасыз ету экологиялық және әлеуметтік тұрғыдан өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Қазақстанның көптеген ауылдық аймақтарында орталықтандырылған сумен жабдықтау жүйесінің болмауы немесе жеткіліксіз дамуы қарапайым, сенімді және экономикалық жағынан тиімді су тазарту технологияларын қолдануды талап етеді. Осындай технологиялардың бірі – баяу құмды сүзу әдісі. Бұл технологияның қарапайым құрылымы, энергия шығынының төмендігі және пайдалану сенімділігі оны шағын елді мекендерде қолдануға мүмкіндік береді. Осы жұмыстың мақсаты – шағын елді мекендерді ауыз сумен қамтамасыз етуде қолданылатын баяу құмды сүзгі қондырғысының құрылымдық ерекшеліктерін сипаттау, тәжірибелік зерттеу әдістемесін негіздеу және кварц құмы мен табиғи цеолитті сүзгі материалдары ретінде қолданудың ғылыми негіздерін талдау. Зерттеу барысында кварц құмы мен табиғи цеолит негізіндегі екі тәжірибелік баяу құмды сүзгі қондырғысы қарастырылды. Сүзгі материалдарының қабаттық орналасуы қалыптастырылып, олардың физика-химиялық қасиеттері салыстырылды. Қондырғыны тәжірибелік зерттеулерге дайындау мақсатында сүзгі материалдары алдын ала жуылып, гидравликалық сынақтар жүргізілді. Сонымен қатар баяу құмды сүзгілерді шағын елді мекендердің табиғи су көздерін тазартуда қолдану мәселелері бойынша отандық және шетелдік ғылыми әдебиеттерге талдау жасалды. Зерттеу нәтижесінде тәжірибелік баяу құмды сүзгі қондырғысының құрылымы сипатталып, оның кейінгі салыстырмалы зерттеулер жүргізуге дайын екендігі анықталды. Әдебиеттерді талдау кварц құмы мен табиғи цеолиттің сүзгі материалы ретінде қолданылуы судың физика-химиялық және микробиологиялық көрсеткіштерін жақсартуға мүмкіндік беретінін көрсетті. Алынған нәтижелер баяу құмды сүзгілерді шағын елді мекендерді ауыз сумен қамтамасыз етуде қолданудың ғылыми-тәжірибелік негізін қалыптастыруға бағытталған және кейінгі тәжірибелік зерттеулерді жүргізуге негіз болады.

**Түйін сөздер:** баяу құмды сүзгі, ауыз су, шағын елді мекен, биоқабат, schmutzdecke, кварц құмы, цеолит

**Дәйексөз үшін:** Тлеш Д.Ә., Халхабай Б. (2026). Шағын елді мекендерді ауыз сумен қамтамасыз етуде баяу сүзгілерді қолдану // Research, results – Изденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 200–207. <https://doi.org/10.37884/4-2026/16> [In Kaz.]

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

*Д.Ә. Тлеш\*, Б. Халхабай*

НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», Алматы, Казахстан.

E-mail: [tilesh.dulat@mail.ru](mailto:tilesh.dulat@mail.ru)

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕДЛЕННОЙ ПЕСЧАНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДОЙ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

**Тлеш Дулат Әлмаханұлы**, магистр сельскохозяйственных наук, PhD-докторант НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», Казахстан, Алматы, ул. Сатпаева, 22а

E-mail: [tilesh.dulat@mail.ru](mailto:tilesh.dulat@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2669-902X>;

**Халхабай Бостандық**, профессор, кандидат технических наук, НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», Казахстан, Алматы, ул. Сатпаева, 22а

E-mail: [k.bostandik@mail.ru](mailto:k.bostandik@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9426-8582>.

**Аннотация.** В настоящее время одним из актуальных вопросов в экологическом и социальном плане является обеспечение малых населенных пунктов качественной питьевой водой. Отсутствие или недостаточное развитие централизованной системы водоснабжения во многих сельских районах Казахстана требует применения простых, надежных и экономически эффективных технологий очистки воды. Одной из таких технологий является метод медленной фильтрации песка. Простая структура этой технологии, низкие затраты энергии и надежность позволяют использовать ее в небольших населенных пунктах. Целью данной работы является изучение конструктивных особенностей установки медленного песочного фильтра, используемого для обеспечения питьевой водой небольших населенных пунктов, обоснование методики экспериментального исследования и анализ научных основ использования кварцевого песка и природного цеолита в качестве фильтрующих материалов. В ходе исследования были рассмотрены две экспериментальные установки медленного песочного фильтра на основе кварцевого песка и природного цеолита. Формировалось слоистое расположение фильтрующих материалов, сравнивались их физико-химические свойства. С целью подготовки установки к экспериментальным исследованиям фильтровальные материалы предварительно промывались, проводились гидравлические испытания. Также проведен анализ отечественной и зарубежной научной литературы по вопросам применения медленных песчаных фильтров при очистке природных источников воды небольших населенных пунктов. В результате исследования была описана структура экспериментальной установки медленного песочного фильтра, и было обнаружено, что она готова к последующим сравнительным исследованиям. Анализ литературы показал, что использование кварцевого песка и природного цеолита в качестве фильтрующего материала позволяет улучшить физико-химические и микробиологические показатели воды. Полученные результаты направлены на формирование научно-практической основы применения медленных песчаных фильтров в питьевом водоснабжении малых населенных пунктов и послужат основой для проведения последующих экспериментальных исследований.

**Ключевые слова:** медленный песчаный фильтр, питьевая вода, малый населённый пункт, биологическая плёнка, schmutzdecke, кварцевый песок, цеолит

**Для цитирования:** Тлеш Д.Ә., Халхабай Б. (2026). Применение медленной песчаной фильтрации для обеспечения питьевой водой малых населенных пунктов // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 200–207. <https://doi.org/10.37884/4-2026/16> [In Kaz.]

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Кіріспе.

Ауыз сумен қауіпсіз қамтамасыз ету – халықтың денсаулығын сақтау мен өмір сүру сапасын арттырудың негізгі факторларының бірі. Қазақстандағы көптеген шағын елді мекендерде орталықтандырылған сумен жабдықтау жүйелері толық дамымаған немесе мүлде жоқ. Мұндай елді мекендердің тұрғындары негізінен жер асты сулары, құдықтар, бұлақтар және ашық табиғи су көздерін пайдаланады. Алайда бұл су көздерінің сапасы жыл мезгіліне, гидрологиялық жағдайларға және антропогендік әсерлерге байланысты тұрақсыз болып келеді. Нәтижесінде судың лайлылығы, органикалық заттардың мөлшері және микробиологиялық ластану деңгейі артып, тұрғындарды сапалы ауыз сумен қамтамасыз ету мәселесі туындайды [Sultakhan және т.б., 2025].

Шағын елді мекендерде заманауи су тазарту станцияларын салу және пайдалану көп жағдайда жоғары қаржылық шығындарды, тұрақты электр энергиясын және білікті техникалық қызмет көрсетуді талап етеді. Сондықтан мұндай аймақтар үшін қарапайым құрылымды, пайдалану шығындары төмен, энергияны аз қажет ететін және сенімді жұмыс істейтін су тазарту технологияларын қолдану өзекті болып табылады.

Осындай технологиялардың бірі – баяу құмды сүзу әдісі. Баяу құмды сүзгілер физикалық сүзу процесімен қатар биологиялық тазарту механизмдеріне негізделеді. Сүзгі қабатының жоғарғы бөлігінде қалыптасатын биологиялық белсенді қабат (schmutzdecke) патогенді микроорганизмдерді, қалқыма бөлшектерді және органикалық заттарды тиімді ұстап қалып, судың сапасын жақсартады. Сонымен қатар баяу құмды сүзгілерді пайдалану барысында химиялық реагенттерді қолдану қажеттілігі төмендейді, бұл технологияны шағын елді мекендер жағдайында қолдануға мүмкіндік береді.

Соңғы жылдары баяу құмды сүзгілердің құрылымын жетілдіруге, сүзгі материалдарының құра-

мын өзгертуге және табиғи минералдарды пайдалану мүмкіндіктеріне бағытталған көптеген ғылыми зерттеулер жүргізілуде. Әсіресе кварц құмы мен табиғи цеолиттің сүзгі материалы ретінде қолданылуы су тазарту тиімділігін арттырудың перспективалы бағыттарының бірі болып саналады [Sultakhan және т.б., 2025].

Осы зерттеу жұмысының мақсаты – шағын елді мекендерді ауыз сумен қамтамасыз етуде қолданылатын баяу құмды сүзгі қондырғысының құрылымдық ерекшеліктерін сипаттау, тәжірибелік зерттеу әдістемесін негіздеу және кварц құмы мен табиғи цеолитті сүзгі материалдары ретінде қолданудың ғылыми негіздерін талдау.

### **Зерттеу материалдары мен әдістемелері.**

Зерттеу жұмысы BR11765599-ОТ-23 «Қазақстан өңірлерінде табиғи суларды тазарту технологияларын әзірлеу және жетілдіру және ауыз судың сапасын жақсарту» бағдарламалық-мақсатты қаржыландыру жобасы аясында әзірленген тәжірибелік баяу құмды сүзгі қондырғысы негізінде жүргізілді.

Зерттеу келесі кезеңдерден тұрды: тәжірибелік қондырғыны дайындау, сүзгі материалдарын орналастыру, гидравликалық сынақ, кейінгі тәжірибелерге дайындау.

Зерттеу барысында екі тәжірибелік баяу құмды сүзгі қондырғысы пайдаланылды. Бірінші сүзгіде сүзгі материалы ретінде кварц құмы, ал екінші сүзгіде табиғи цеолит қолданылды. Екі сүзгінің конструкциялық өлшемдері, сүзгі қабатының биіктігі және гидравликалық жұмыс режимі бірдей қабылданды. Мұндай тәсіл кейінгі тәжірибелерде сүзгі материалының су тазарту тиімділігіне әсерін салыстырмалы түрде бағалауға мүмкіндік береді.

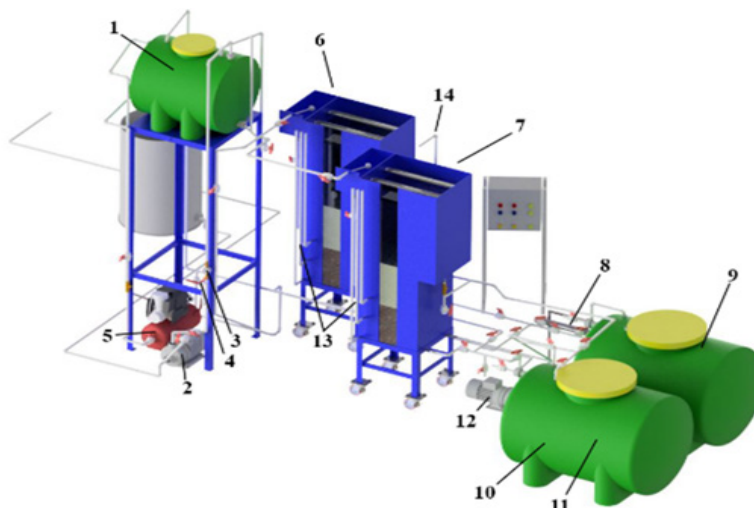
Тәжірибелік қондырғы бастапқы су ыдысынан, өздігінен соратын сорғыдан, су өлшеу жүйесінен, екі баяу құмды сүзгіден, ультракүлгін зарарсыздандыру блогынан және тазартылған суды жинауға арналған резервуардан тұрады. Қондырғының технологиялық сызбасы 1-суретте көрсетілген.

Әрбір сүзгінің жалпы сүзгі қабатының биіктігі 60 см құрайды. Сүзгі қабаттары қиыршық тас пен әртүрлі фракциядағы сүзгі материалдарынан қалыптастырылды. №1 сүзгіде сүзгі материалы ретінде кварц құмы, ал №2 сүзгіде табиғи цеолит пайдаланылды.

Тәжірибелік қондырғыны іске қосар алдында сүзгі материалдары бірнеше рет кран суымен шайылып, ұсақ бөлшектер мен өндірістік шаң-тозаңнан тазартылды. Бұл процедура сүзгінің бастапқы жұмысын тұрақтандыруға және бөгде қоспалардың сүзу сапасына әсерін азайтуға мүмкіндік береді.

Сүзгі материалдарын орналастырғаннан кейін қондырғыда гидравликалық сынақ жүргізілді. Сынақ барысында су ағынының біркелкі таралуы, сүзгі қабаты арқылы судың өту тұрақтылығы және қондырғының герметикалығы тексерілді. Гидравликалық сынақ нәтижелері қондырғының кейінгі тәжірибелік зерттеулер жүргізуге жарамды екенін көрсетті.

Осы зерттеу кезеңінде тәжірибелік қондырғыны дайындау, сүзгі материалдарын орналастыру және зерттеу әдістемесін қалыптастыру жұмыстары орындалды. Келесі кезеңде кварц құмы мен табиғи цеолит негізіндегі баяу құмды сүзгілердің табиғи сулардың физика-химиялық және микробиологиялық көрсеткіштеріне әсері тәжірибелік жағдайда салыстырмалы түрде бағаланатын болады.



Сур. 1. Баяу құмды сүзгі қондырғысы

[Fig.1. Slow sand filtration unit]

Бастапқы су ыдысы; 2- өздігінен соратын сорғы; 3-манометр; 4- су өлшегіш; 5- компрессор; 6

- №1 баяу құмды сүзгі; 7- №2 баяу құмды сүзгі; 8 -УУФОВ шамы (бактерицидті ультракүлгін шам ); 9 - тазартылған су ыдысы; 10-шайылған сумен жабдықтауға арналған сорғы; 11-шайылған су ыдысы; 12- сүзгілерді қосыту арқылы жуу; 13-пъезометр; 14-қосытқыш.

Баяу құмды сүзгі қондырғысының техникалық параметрлері:

өнімділігі - 1,2 м3/тәу, 0,05 м3/сағ;

сүзгінің өлшемі - 0,7x0,5x1,5 м;

бір сүзгінің сыйымдылығы - 0,455 м3;

бір сүзгінің ауданы - 0,25 м2;

бір сүзгіні жууға кететін су шығыны - 0,135 м3;

сүзу жылдамдығы - 0,1-0,4 м/сағ.

Зерттеу материалдары ретінде 1-ші кестеде көрсетілген сүзгі материалдары пайдаланылады.

Кесте 1. Тәжірибелік баяу құмды сүзгі қондырғысында пайдаланылатын жүктемелер

| №1 - сүзгі                     | №2 - сүзгі             |                                |                        |
|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------|
| сүзгі материалдары, мм         | жүктеменің мөлшері, см | сүзгі материалдары, мм         | жүктеменің мөлшері, см |
| қиыршық тас 5-20 мм            | 10                     | қиыршық тас 5-20 мм            | 10                     |
| кварц құмы 5 мм                | 10                     | цеолит 5 мм                    | 10                     |
| кварц құмы 2,5 мм              | 20                     | цеолит 2,5 мм                  | 10                     |
| кварц құмы 0,63 мм             | 10                     | цеолит 0,63 мм                 | 20                     |
| кварц құмы 2,5 мм              | 5                      | цеолит 1,25 мм                 | 5                      |
| кварц құмы 5 мм                | 5                      | цеолит 2,5 мм                  | 5                      |
| Жалпы сүзгі қабатының биіктігі | 60                     | Жалпы сүзгі қабатының биіктігі | 60                     |

Екі сүзгі қондырғысының конструкциялық параметрлері бірдей қабылданды.

Кесте 2. Кварц құмы мен цеолиттің химиялық құрамы мен қасиеттері

| Көрсеткіштері            | Кварц құмы             | Цеолит (клиноптилолит)                                                                                             |
|--------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Негізгі құрамы           | SiO <sub>2</sub>       | алюмосиликат                                                                                                       |
| Химиялық формуласы       | SiO <sub>2</sub>       | (Na,K,Ca) <sub>2-3</sub> Al <sub>3</sub> (Al,Si) <sub>2</sub> Si <sub>13</sub> O <sub>36</sub> ·12H <sub>2</sub> O |
| Түсі                     | ақшыл, сарғыш          | сұр, жасылдау, қоңыр                                                                                               |
| Құрылымы                 | тығыз                  | кеуекті                                                                                                            |
| Кеуектілігі              | төмен                  | жоғары                                                                                                             |
| Адсорбциялық қасиеті     | төмен                  | жоғары                                                                                                             |
| Ион алмасу қасиеті       | жоқ                    | бар                                                                                                                |
| Механикалық беріктігі    | жоғары                 | орташа                                                                                                             |
| Су тазартудағы рөлі      | механикалық сүзу       | адсорбция және ион алмасу                                                                                          |
| Тығыздығы                | 2,65 г/см <sup>3</sup> | 2,1–2,4 г/см <sup>3</sup>                                                                                          |
| Қаттылығы (Моос шкаласы) | 7                      | 3,5–5                                                                                                              |

### Зерттеу нәтижелері және талдау.

Зерттеу барысында тәжірибелік баяу құмды сүзгі қондырғысының құрылымы қарастырылып, оның тәжірибелік зерттеулер жүргізуге дайындығы қамтамасыз етілді. Қондырғыда кварц құмы мен табиғи цеолит сүзгі материалдары ретінде пайдаланылды. Сүзгі қабаттары жобалық шешімге сәйкес орналастырылып, тәжірибелік зерттеулер жүргізуге дайындалды.

Екі сүзгі қондырғысы бірдей гидравликалық жағдайда жобаланып, олардың айырмашылығы тек сүзгі материалының құрамымен шектелді. Бұл сүзгі материалдарының тиімділігін салыстырмалы бағалауға мүмкіндік береді.

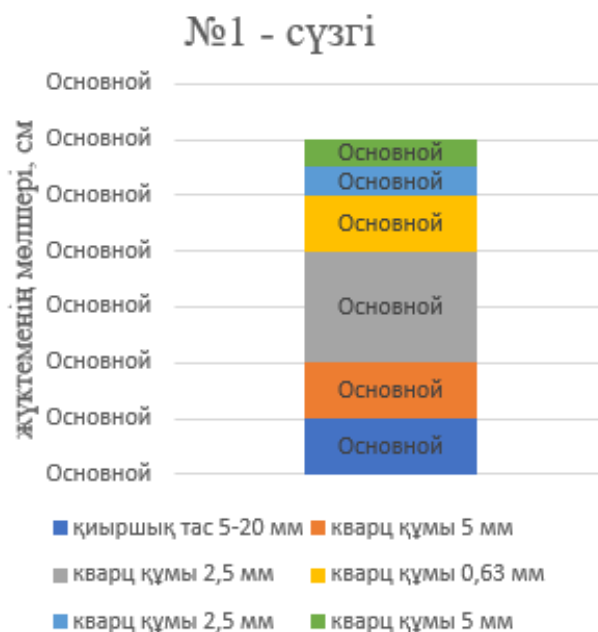
Әдеби деректер бойынша кварц құмы механикалық сүзу арқылы судың лайлылығын төмендетуде кеңінен қолданылады. Құм түйіршіктерінің арасындағы кеуектер арқылы өткен судағы қатты бөлшектер механикалық сүзу нәтижесінде ұсталып қалады. Сонымен қатар сүзгінің жоғарғы қабатында түзілген биологиялық қабат органикалық ластаушылардың ыдырауына ықпал етеді.



Сур.2. Тәжірибелік баяу құмды сүзгі қондырғысы.  
[Fig.2. experimental slow filter unit].

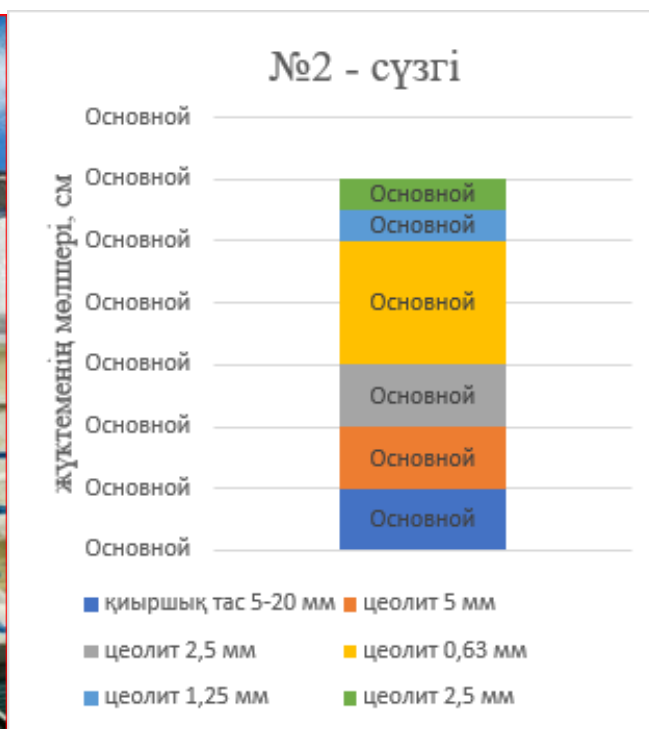


Сур. 3. Кварц жүктемесі бар №1 сүзгі [авторлық жұмыс].  
[Fig.3. Filter №1 with Quartz load [author's work].].



Цеолит толтырылған сүзгіде механикалық сүзумен қатар ионалмасу және адсорбциялық процестер орын алады. Цеолиттің кеуекті құрылымы еріген кейбір ластаушы заттарды, соның ішінде аммоний иондарын және ауыр металдардың жекелеген түрлерін ұстап қалуға мүмкіндік береді. Сондықтан цеолит негізіндегі сүзгінің су сапасын жақсарту әлеуеті кварц құмымен салыстырғанда жоғары болуы мүмкін.

Соңғы зерттеулерде баяу құмды сүзгілерде табиғи цеолитті қолдану ауыр металдарды, фторидтерді және мышьяк қосылыстарын жою тиімділігін арттыратыны, сонымен қатар судың лайлылығын төмендетуге оң әсер ететіні көрсетілген [Onyutha және т.б., 2024]. Тәжірибелік қондырғыда суды соңғы зарарсыздандыру қондырғысы ретінде ультракүлгін сәулесімен тазарту жүйесі қойылған. Бұл қондырғы сүзгіден өткен суды толықтай ішуге жарамды етеді [Abdiyev және т.б., 2023]



Сур. 4. Цеолит жүктемесі бар №2 сүзгі [авторлық жұмыс].

[Fig.4. Filter №2 with Zeolite load [author's work].].

Әдебиеттерге жүргізілген талдау баяу құмды сүзу технологиясының шағын елді мекендер үшін қарапайым, энергия шығыны төмен және пайдалану жағынан қолайлы әдіс екенін көрсетеді. Кварц құмы мен цеолитті сүзгі материалдары ретінде қолдану ауыз су сапасын жақсартуға мүмкіндік береді, алайда олардың тиімділігі бастапқы су сапасына және сүзгінің пайдалану режиміне байланысты өзгереді [Abdelwahab және т.б., 2023].

Жалпы алғанда, баяу құмды сүзгілерді жергілікті су көздерін тазарту үшін пайдалану шағын елді мекендерді қауіпсіз ауыз сумен қамтамасыз етудің тиімді және экономикалық тұрғыдан қолжетімді шешімі болып табылады.

Дегенмен, баяу құмды сүзгі технологиясының белгілі бір шектеулері бар. Атап айтқанда, ол үлкен аумақты қажет етеді, сүзу жылдамдығы төмен, алдын ала тұндыруды қажет етуі мүмкін және сүзгі қабатын мезгіл-мезгіл тазалау керек.

Баяу құмды сүзгіні іске қосар алдында сүзгі материалдарын алдын ала жуу сүзгінің тұрақты жұмысын қамтамасыз ететін маңызды технологиялық кезең болып табылады. Әдебиеттерде сүзгі материалдарын алдын ала дайындау сүзу тиімділігіне оң әсер ететіні көрсетілген. Қалыңдығы 3 мм цеолит қабатын 25 л сүзгідегі қалыңдығы 10 см құм қабатымен араластыру табиғи сулардың лайлануының (80 % қарсы 93 %) және фекальды колиформды бактериялардың санының төмендеуіне әкелді [Maiyo және т.б., 2023: 1–15]. Микробиологиялық тұрғыдан баяу құмды сүзгілер *Escherichia coli* бактерияларын 95–99,99 %, ал жалпы колиформаларды 99 % дейін жоя алатыны дәлелденген [Hijnen et al., 2007: 120–128]. Сонымен қатар баяу құмды сүзгілер вирустарды 2–6 log, ал *Cryptosporidium* және *Giardia* сияқты қарапайымдыларды 4–5 log деңгейінде жоя алатыны анықталған [Logsdon және т.б., 2002: 84–90]. Сүзгі құрылымында құм қабатының қалыңдығы әдетте 0,8–1,2 м, тірек қиыршық тас қабаты 0,3–0,5 м, ал сүзгі үстіндегі су қабаты 1,0–1,5 м шамасында жобаланады. Осындай параметрлер сүзгінің тұрақты әрі ұзақ мерзімді жұмысын қамтамасыз етеді [Huisman және т.б., 2020: 28–35].

Үлкен қондырғылар үшін ұсынылатын құм тереңдігі әдетте 1,2-ден 1,4 м-ге дейін болады, дегенмен шағын тұрмыстық қондырғылар үшін құм тереңдігі 0,3 м-ден аз болса тиімді жұмыс істейді. Лайлану мен колиформды бактерияларды дұрыс жою үшін ең төменгі тереңдік 0,3 м, ал вирустарды айтарлықтай жою үшін ұсынылатын тиімді тереңдік 0,6 м. Дегенмен, патогендік бактериялар мен вирустардың енуін тіпті осы тереңдікте де толық жойылмауы мүмкін болғандықтан сүзуден кейін зарарсыздандыру ұсынылады. [Maiyo және т.б., 2023: 1–15].

Осылайша, жүргізілген әдебиеттерге талдау мен тәжірибелік қондырғыны дайындау жұмыстары баяу құмды сүзгілердің шағын елді мекендерді ауыз сумен қамтамасыз етуде қолдануға перспекти-

валы технология екенін көрсетті. Қазіргі кезеңде тәжірибелік қондырғы дайындалып, оның жұмысқа жарамдылығы тексерілді. Келесі зерттеу кезеңінде кварц құмы мен табиғи цеолиттің табиғи судың физика-химиялық және микробиологиялық көрсеткіштеріне әсері тәжірибелік жағдайда салыстырмалы түрде бағаланатын болады.

### Қорытынды.

Жүргізілген зерттеу барысында шағын елді мекендерді ауыз сумен қамтамасыз етуге арналған баяу құмды сүзгі қондырғысының құрылымы зерттеліп, оның тәжірибелік зерттеулер жүргізуге арналған әдістемесі қалыптастырылды. Тәжірибелік қондырғыда кварц құмы мен табиғи цеолит сүзгі материалдары ретінде қолданылып, олардың қабаттық орналасуы зерттеу әдістемесіне сәйкес қалыптастырылды.

Сүзгі материалдары алдын ала дайындалып, бірнеше рет жуылды және гидравликалық сынақтар жүргізілді. Нәтижесінде қондырғының жұмысқа жарамдылығы расталып, кейінгі тәжірибелік зерттеулер жүргізуге дайын екендігі анықталды.

Әдебиеттерге жүргізілген талдау баяу құмды сүзгілердің шағын елді мекендерді сапалы ауыз сумен қамтамасыз етуге қарапайым, энергия шығыны төмен және экономикалық жағынан тиімді технологиялардың бірі екенін көрсетті. Табиғи цеолиттің адсорбциялық қасиеттері мен кварц құмының механикалық сүзу қабілеті оларды сүзгі материалы ретінде қолданудың ғылыми негізді екенін дәлелдейді.

Алынған нәтижелер баяу құмды сүзгілерді шағын елді мекендерді ауыз сумен қамтамасыз ету жүйелерінде қолданудың ғылыми-тәжірибелік негізін қалыптастырады және кейінгі тәжірибелік зерттеулерді жүргізуге мүмкіндік береді.

### REFERENCES

- An Introduction to Slow Sand Filtration [Electronic resource]. Issue 1. 2005. Access mode: [www.itacanet.org](http://www.itacanet.org) (accessed: 11.06.2026).
- Visscher J.T., Paramasivam R., Raman A., Heijne H.A. (1990). *Slow Sand Filtration for Community Water Supply: Planning, Design, Construction, Operation and Maintenance*. The Hague: International Reference Centre for Community Water Supply and Sanitation, 1990.
- Azat S., Kabdrakhmanova S., Kabdrakhmanova A., Abdiyev K., Aryp K., Kuldeyev E., Khalkhabay B., Sultakhan Sh., Rash A. (2023). Qualitative indicators of drinking water of the maysky district pavlodar region of the republic Kazakhstan // *NNC RK Bulletin*. (2). 25–32. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2023-2-25-32> (In Russ.)
- Onyutha C., Okello E., Atukwase R., et al. (2024). Improving household water treatment: using zeolite to remove lead, fluoride and arsenic following optimized turbidity reduction in slow sand filtration // *Sustainable Environment Research*. Vol. 34. Article 4. <https://doi.org/10.1186/s42834-024-00209-x>
- Abdiyev K., Azat S., Kuldeyev E., Ybyraiymkul D., Kabdrakhmanova S., Berndtsson R., Khalkhabay B., Kabdrakhmanova A., Sultakhan S. (2007). Review of Slow Sand Filtration for Raw Water Treatment with Potential Application in Less-Developed Countries. *Water* 2023. 15. <https://doi.org/10.3390/w15112007>
- Maiyo J.K. et al. (2023). Slow Sand Filters for the 21st Century: A Review // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Vol. 20. No. 2. – Article 1019. DOI: 10.3390/ijerph20021019.
- Abdelwahab O., Thabet W.M. (2023). Natural zeolites and zeolite composites for heavy metal removal from contaminated water and their applications in aquaculture systems: A review // *The Egyptian Journal of Aquatic Research*. Vol. 49. No. 4. Pp. 431–443. DOI: 10.1016/j.ejar.2023.11.004.
- Erazo-Oliveras A., Mayol-Bracero O.L., Ríos-Dávila R.A. (2012). Improving Slow Sand Filters for Water-Limited Communities // *Opflow*. Vol. 38. No. 2. Pp. 24–27. <https://doi.org/10.5991/OPF.2012.38.0009>
- Tanirbergenova S., Tugelbayeva D., Zhylybayeva N., Aitugan A., Tazhu K., Moldazhanova G., Mansurov Z. (2025). Effect of Acid Treatment on the Structure of Natural Zeolite from the Shankhanai Deposit [Text] // *Processes*. Vol. 13. No. 9. – Article 2896. DOI: 10.3390/pr13092896
- Tubon-Usca G., Centeno C., Pomasqui S., Beneduci A., Arias F.A. (2025). Enhanced Adsorption of Methylene Blue in Wastewater Using Natural Zeolite Impregnated with Graphene Oxide [Text] // *Applied Sciences*. Vol. 15. No. 5. – Article 2824. <https://doi.org/10.3390/app15052824>
- Verma V., Daverey A., Sharma A. (2017). Slow Sand Filtration for Water and Wastewater Treatment – A Review [Text] // *Environmental Technology Reviews*. Vol. 6. No. 1. Pp. 47–58. <https://doi.org/10.1080/21622515.2017.1290148>
- Langenbach K., Kusch P., Horn H., Kästner M. (2010). Slow Sand Filtration of Secondary Clarifier Effluent for Wastewater Reuse [Text] // *Water Research*. Vol. 44. No. 5. Pp. 1655–1662. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.10.030>
- Hijnen W.A.M., Schijven J.F., Bonne P., Visser A., Medema G.J. Elimination of viruses, bacteria and protozoan oocysts by slow sand filtration. *Water Science and Technology: Water Supply*. 2007;7(3):120–128.
- Logsdon G.S., Kohne R., Abel S., LaBonde S. (2002). *Slow Sand Filtration for Small Water Systems* // *Journal Water Supply Publication*. 2002. 84–90.
- Huisman L., Wood W.E. (1974). *Slow Sand Filtration*. Geneva: World Health Organization; 1974. (Reprinted/used edition 2020). 28–35.

**AGRICULTURE MECHANIZATION AND ELECTRIFICATION**  
**АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫН МЕХАНИКАЛАНДЫРУ ЖӘНЕ ЭЛЕКТРЛЕНДІРУ**  
**МЕХАНИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

RESEARCH, RESULTS – ІЗДЕНІСТЕР, НӘТИЖЕЛЕР – ИССЛЕДОВАНИЯ, РЕЗУЛЬТАТЫ

ISSN 2304-3334 (print)

Vol. 28. Is. 4. Number 112 (2026). Pp. 208–220

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

<https://doi.org/10.37884/4-2026/17>

IRSTI / FTAXP / МРНТИ / 68.01.05



**K. Kalym<sup>1\*</sup>, Sh.T. Duisenova<sup>2</sup>, S.T. Demesova<sup>1</sup>, A.K. Zhunusova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Gumarbek Daukeev Almaty University of Energy and Communications, NAO, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: [abdirahim\\_334@mail.ru](mailto:abdirahim_334@mail.ru)

**EXPERIMENTAL EQUIPMENT FOR STORING SOYBEAN GRAINS WITH ACTIVE VENTILATION**

**Kalym Kabdyrahim**, PhD, «Kazakh National Agrarian Research University», Republic of Kazakhstan, Almaty city, Abay Avenue 8

E-mail: [abdirahim\\_334@mail.ru](mailto:abdirahim_334@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7465-8548>;

**Duisenova Sholpan Turanovna**, PhD, Senior lecturer of the Department of «Electric Power Networks», AUES named after G. Daukeev RK, 050013., Almaty, Baitursynova str., 126/1

E-mail: [sh.duisenova@aes.kz](mailto:sh.duisenova@aes.kz), <https://orcid.org/0000-0003-0820-7586>;

**Demesova Saule Talgatkyzy**, PhD, «Kazakh National Agrarian Research University», Republic of Kazakhstan, Almaty city, Abay Avenue 8

E-mail: [saule.demesova@mail.ru](mailto:saule.demesova@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0007-9224-6460>;

**Zhunusova Aiza Kadyrzhanikyzy**, Senior lecturer at the Department of «Electric Power Systems», AUES named after G. Daukeev, Kazakhstan, 050013., Almaty, Baitursynova str., 126/1

E-mail: [a.zhunusova@aes.kz](mailto:a.zhunusova@aes.kz), <https://orcid.org/0000-0003-1325-1311>.

**Abstract.** The article explores and substantiates the operating modes of container-modular equipment with active ventilation, such as the actual capacity, power consumption for the grain movement process, as well as the use of a progressive method for controlling the humidity and temperature of soybeans during storage. An experimental mock-up installation has been developed that adequately simulates the proposed technology for storing soybeans with active ventilation, for subsequent verification of the calculated data. The experiments have confirmed that the proposed experimental setup makes it possible to adequately simulate the process of grain storage in containers with active ventilation and to conduct experiments with the regulation of basic parameters such as productivity, energy consumption, humidity, etc. using modern methods, devices and digital technologies. The experimental results are presented. Along with this, using the “Straj Climate Control” program humidity and temperature were monitored during the experiment. Experimental data have been obtained on which it is possible to establish the dependence of the lifting height on the velocity of the air mass.

**Keywords:** Active ventilation, productivity, power consumption, soybean moisture, lifting height, air flow velocity.

**For citation:** Kalym K., Duisenova Sh.T., Demesova S.T., Zhunusova A.K. (2026). Experimental equipment for storing soybeans with active ventilation // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 208–220. <https://doi.org/10.37884/4-2026/17> [In Russ.].

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

**Gratitude:** The research work was carried out at KazNARU. The authors express their gratitude to the scientific supervisors and the staff of the Department of Agricultural Machinery and Technology for the

**К. Калым<sup>1\*</sup>, Ш.Т. Дуйсенова<sup>2</sup>, С.Т. Демесова<sup>1</sup>, А.К. Жунусова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті КЕАҚ, Алматы, Қазақстан;

<sup>2</sup>Ғұмарбек Дәукеев атындағы алматы энергетика және байланыс университеті КЕАҚ, Алматы, Қазақстан.

E-mail: abdirahim\_334@mail.ru

## **БЕЛСЕНДІ ЖЕЛДЕТУ ЖҮЙЕСІ БАР СОЯ ДӘНДЕРІН САҚТАУҒА АРНАЛҒАН ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЖАБДЫҚ**

**Калым Қабдырахим**, PhD, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, 050021, Қазақстан, Алматы қаласы, Абай даңғылы, 8

E-mail: abdirahim\_334@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7465-8548>;

**Дуйсенова Шолпан Турановна**, PhD, «Электр энергетикалық жүйелер» кафедрасының аға оқытушысы, ҚР Ғ. Дәукеев атындағы АЭЖБУ, 050013., Алматы қ., Байтұрсынов к-сі, 126/1

E-mail: sh.duisenova@aes.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0820-7586>;

**Демесова Сәуле Талғатқызы**, PhD, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, 050021, Қазақстан, Алматы қаласы, Абай даңғылы, 8

E-mail: saule.demesova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-9224-6460>;

**Жунусова Айза Қадыржанқызы**, «Электр энергетикалық жүйелер» кафедрасының аға оқытушысы, ҚР Ғ. Дәукеев атындағы АЭЖБУ, 050013., Алматы қ., Байтұрсынов к-сі, 126/1

E-mail: a.zhunusova@aes.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1325-1311>.

**Аннотация.** Мақалада белсенді желдетілетін контейнер-модульдік жабдықтың жұмыс режимдері зерттеледі және негізделеді, мысалы, нақты өнімділік, астықты жылжыту процесіне жұмсалатын қуат, сондай-ақ сақтау кезінде соя дәнінің ылғалдылығы мен температурасын бақылаудың прогрессивті әдісін қолдану. Есептік деректерді кейіннен тексеру үшін ұсынылған белсенді желдетілетін соя сақтау технологиясын барабар модельдейтін эксперименттік макет қондырғысы жасалды. Жүргізілген эксперименттер ұсынылған эксперименттік қондырғы Астықты белсенді желдетілетін контейнерлерде сақтау процесін барабар модельдеуге және заманауи әдістерді, аспаптар мен цифрлық технологияларды пайдалана отырып, өнімділік, энергия тұтыну, ылғалдылық және т.б. сияқты негізгі параметрлерді реттей отырып тәжірибелер жүргізуге мүмкіндік беретінін растады. Эксперименттердің нәтижелері ұсынылған. Сонымен қатар, «Straj Climate Control» бағдарламасын қолдана отырып, эксперимент кезінде ылғалдылық пен температура бақыланды. Көтерілу биіктігінің ауа массасының жылдамдығына тәуелділігін анықтауға болатын эксперименттік деректер алынды.

**Түйін сөздер:** белсенді желдету, өнімділік, қуат тұтыну, соя ылғалдылығы, көтерілу биіктігі, ауа ағынының жылдамдығы

**Дәйексөз үшін:** Калым К., Дуйсенова Ш.Т., Демесова С.Т., Жунусова А.К. (2026). Белсенді желдетумен соя дәндерін сақтауға арналған эксперименттік жабдық // Research, results – Изденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 208–220. <https://doi.org/10.37884/4-2026/17> [In Russ.].

**Мүдделер қақтығысы:** авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

**Алғыс:** зерттеу жұмысы ҚазҰАЗУ-да орындалды. Авторлар әдістемелік және техникалық қолдау көрсеткені үшін «Аграрлық техника және технология» кафедрасының ғылыми жетекшілері мен ұжымына алғыстарын білдіреді.

**К. Калым<sup>1\*</sup>, Ш.Т. Дуйсенова<sup>2</sup>, С.Т. Демесова<sup>1</sup>, А.К. Жунусова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет». Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева НАО, Алматы, Казахстан.

E-mail: abdirahim\_334@mail.ru



ных ресурсов по производительности и качественному составу. +Как уже отмечалось, главное условие безопасного хранения зерна сои - снижение содержания влаги в нем до разрешенного уровня, который зависит от продолжительности хранения и температуры окружающей среды. Так просто можно предупредить вредное воздействие микроорганизмов и грибов, а также уменьшить газообмен зерна. Однако им нельзя пренебрегать при закладке зерна сои на длительное хранение (более трех-четырех недель) [Yukish & Pina, 2009]. Поскольку зерно имеет очень низкую теплопроводность, тепловая энергия выделяется в центре бункера и очень медленно выходит на поверхность. В случае, когда зерно хранится в большой элеваторной башне, тепло будет постепенно накапливаться до тех пор, пока температура в центре башни не достигнет достаточно высокого уровня для теплообмена с окружающей средой через стенки элеваторной башни до выравнивания температур. В частности, при жарких климатических условиях такое выравнивание никогда может не установиться, поскольку температура зерна сои будет продолжать расти под влиянием самоподдерживающего механизма, перевесив уровень в несколько градусов выше температуры окружающей среды.

При таких условиях нужно не только высушить зерно для уменьшения газообмена (до 13–14 %), но и охладить его до минимально возможной температуры непосредственно перед закладкой на хранение, если удастся достичь температуры ниже температуры окружающей среды, то, благодаря теплоизоляционным свойствам зерна, замедляется проникновение тепла в него из окружающей среды. Итак, для надежного хранения следует поддерживать достаточно низкую температуру воздуха между зерновым пространством, чтобы сдерживать развитие грибов и предотвращать самосогревание [МАК, 2015; Parimala и др., 2013].

Основная причина снижения качества сои при хранении - развитие грибов. Так, при хранении в течение года сои влажностью 11–12.5 % минимальное развитие грибов наблюдается только в конце его хранения. Грибы также отсутствуют в течение 270 дней хранения при влажности семян 14–14.5 % и температуре хранения 5° С. Они очень плохо развиваются или вообще не развиваются при температуре 4.5° С, не развиваются при влажности воздуха 65 % и ниже и в пределах влажности семян от 11 до 12 % [Lamond & Grem, 1993].

При этом влажность является более важным, чем для других культур. Важно также учитывать, что для семенной сои, чтобы сохранить всхожесть, ее следует хранить при влажности на 1 % ниже, чем для той, что хранится для продажи и переработки.

В северном холодном регионе для длительного хранения максимальная влажность для зерна сои должна составлять 11–11.5 %, в южном – 10–10.5 %. Безопасные уровни влажности для хранения зерна сои зависят от температуры воздуха, массы партии, а также от целевого назначения зерна: на переработку, на корм или на семена.

Во время хранения сои в большом количестве длительное время при теплой погоде нужно предусмотреть проветривания для предотвращения развития плесени и «горения», даже когда содержание влаги невысокое. Без проветривания зерно может прогоркнуть и обесцвечиваться, что снизит его качество. Для лучшего проветривания зерно должно быть чистым от растительных остатков, а количество травмированных, потрескавшихся семян – минимальным [Kazanina, 1988].

Влияние влажности зерна на хранение осложняется тем, что влага в сушильном бункере перемещается. В прохладный период холодный воздух у наружных стен бункера опускается, а теплый - поднимается центром бункера, забирая из потока влагу. Во время этого процесса влага накапливается в центральной верхней части бункера. Так, в бункерах при средней влажности зерна 12–13 % в верхней части она повышается до 16–17 %, что может снизить качество зерна сои.

Основные требования для качественного хранения сои следующие: влажность должна быть 10–10.5 %, относительная влажность воздуха - ниже 60 %, температура - 5° ...+ 5° С [Chang и др., 1993]. Помещение для хранения семян сои очищают, дезинфицируют и хорошо проветривают. Хранят семена сои в металлических бункерах, закрытых складских помещениях, в мешках штабелями высотой 1.5–2.5 m, а товарное - в металлических бункерах и насыпью или в бункерах с активным вентилированием.

Активное вентилирование применяется не только для охлаждения или предохранения влажного зерна от самосогревания, но и для сушки [Aniskin, 1972]. Для активного вентилирования семян с целью их сушки используют атмосферный или подогретый воздух. Скорость сушки зависит от насыщенности воздуха водяными парами, температуры воздуха, влагоотдающей способности зерна и семян, удельной подачи воздуха, допустимой продолжительности сушки. Для сушки зерна вентилированием

летом и ранней осенью используется теплый атмосферный воздух с относительной влажностью не более 65–75 %. Такая сушка идет медленно и требует большого расхода воздуха [Sakun, 1974]. В условиях Беларуси для сѐма 1 % влаги при подаче воздуха 100 м<sup>3</sup> требуется свыше трех суток. Чтобы не испортить зерно и семена, сушить их больше 6–10 суток нельзя, а поэтому удельная подача воздуха при сушке должна быть значительно больше, чем при охлаждении [Vasilev, 1984]. Предложенный нами прогрессивный и экономически выгодный, способ хранения зерна сои контейнерное-модульное оборудование для хранения зерновых масс с активным вентилированием, устраняет многие указанные недостатки.

Ранее нами была выдвинута идея, где в качестве емкостей для хранения зерна (сои) используются стандартные контейнеры для перевозки грузов вместимостью 10–40 м<sup>3</sup>. Каждый модуль состоит из выбранного контейнера, пневмотранспортера, трубопроводов и приборов контроля и управления. Предложенное оборудование (рис. 1) содержит бункер для хранения зерна, отличающийся тем что, бункер выполнен в виде вертикально расположенного контейнера, при этом его нижняя часть (дно) выполнена конусообразным под углом не менее 40° и нижнее отверстие через патрубок соединено с пневмотранспортером а на внутренней боковой стороне, на трех равноудаленных уровнях по высоте контейнера, размещены датчики влажности, которые закреплены на сквозных металлических трубах, с внешней стороны контейнера установлен щит управления и контроля датчиков [Atykhonov и др., 2018b].

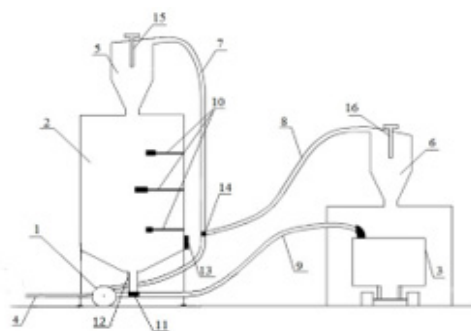


Рис. 1. Оборудование для хранения зерна с активной вентиляцией [Atykhonov, 2018]:

1 – пневмотранспортный агрегат; 2 – контейнер; 3 – транспортное средство, откуда загружается зерно и откуда оно выгружается; 4 – силовая передача; 5 и 6 – зерноотделительные (разгрузочные) циклоны-выгрузчики; 7 – трубопровод для активного проветривания или загрузки; 8 – трубопровод для выгрузки; 9 – трубопровод (шланг) для загрузки зерновой массы; 10 – датчики влажности; 11 – двухходовой клапан; 12 – нижнее сопло; 13 – панель управления и контроля датчиков; 14 – двухходовой клапан; 15 и 16 – патрубки (с фильтрами) для отвода воздушного потока из циклонов.

[Fig. 1. Grain storage equipment with active ventilation [Atykhonov, 2018]].

Оборудование для хранения зерна с активной вентиляцией выполняет три цикла: загрузку, проветривание и разгрузку и работает следующим образом: Загрузка зерна (рис.1) в оборудованный контейнер 2 из транспортного средства 3 осуществляется пневмотранспортным агрегатом 1 по загрузочному трубопроводу 9, затем по вертикальному трубопроводу 7 в циклон 5, где воздушно-зерновой поток разделяется на воздух, который удаляется через сопло 15, и в зерно, которое укладывается в контейнер 2 для хранения. Задвижка в нижней части циклона 5 приводится в движение электродвигателем [Atykhonov и др., 2018a; Duisenova и др., 2019]. Активное проветривание зерна в контейнере 2 осуществляется по замкнутому контуру пневмотранспортирующим агрегатом 1 из нижнего патрубка 12 контейнера через двухходовой клапан 14, затем по вертикальному трубопроводу 7, циклону 5 и возвращается в контейнер-накопитель 2. Выгрузка зерна из накопительной емкости производится из ее нижнего патрубка пневмотранспортным агрегатом 1, через двухходовой клапан 14, трубопровод 8 через циклон 6 в транспортное средство 3.

Эта технология потребовала исследования и дальнейшего обоснования основных режимов работы контейнерно-модульного оборудования с активной вентиляцией, таких как фактическая производительность, энергопотребление на процесс транспортировки зерна и вентиляции в закрытом помещении, а также использования передового метода контроля влажности и температуры сои.

Целью данного исследования является разработка экспериментального оборудования, адекватно моделирующего предлагаемую технологию хранения сои с активной вентиляцией, для последующей проверки расчетных данных.

## Материалы и основные методы.

Экспериментальное оборудование. Для целей исследования было разработано экспериментальное оборудование (рис.2). Оборудование имитирует предложенную технологию согласно рис. 1 и работает в трех режимах – загрузка (рис. 3), вентиляция (рис. 4) и разгрузка (рис. 6).



Рис. 2. Экспериментальное оборудование для хранения зерна (сои) с активной вентиляцией  
[Fig. 2. Experimental equipment for grain (soybean) storage with active ventilation].

1 – контейнер; 2 и 3 – циклоны-разгрузчики; 4 – трубопровод для активного проветривания или загрузки; 5 – трубопровод для выгрузки; 6 – компьютерный монитор; 7 – всасывающее оборудование (воздуходувка или пылесос); 8 – барабан для загрузки и выгрузки зерна; 9 – прибор для измерения энергопотребления; 10 – датчик влажности и температуры; 11 – нижнее сопло.

На рис. 1 в качестве всасывающего оборудования показан пылесос, но также использовался вентилятор (STIHL® BGE 71). В обоих случаях скорость воздушного потока может непрерывно изменяться с помощью инвертора (частотно-регулируемого привода).

Возможности этого экспериментального оборудования заключаются в:

Изменение и измерение скорости воздушного потока;

Измерение энергопотребления;

Измерение влажности и температуры сои;

Изменение высоты подачи.

На основе этих измерений можно определить несколько исходных данных для теоретических расчетов:

Расход воздуха и материала (сои);

Зависимость между скоростью воздушного потока и высотой подачи;

Зависимость между временем сушки и параметрами подачи;

Определение расхода и энергопотребления (рис. 3)7

Для определения расхода и энергопотребления из барабана в контейнер загружают 1 кг сои. Высота вертикального транспортера составляет 1,5 м. Измеряется время загрузки и потребляемая мощность. Проводится десять тестов.

Загрузка сои проводилась из емкости 8, откуда загружается зерно через трубопровод 4 которая служит для загрузки и активной вентиляции зерновой массы, отделяется через циклон 2 и в контейнер 1 для хранения зерна рисунок 3.



Рис. 3. Загрузка сои в контейнер.  
[Fig. 3. Loading soybeans into the container].

Определение влажности зерна (рис. 4).

Для исследования процесса сушки 1 кг сои влажностью 15 % в течение 3 ч 3 мин подвергали активному вентилированию по замкнутому контуру от нижней насадки к циклону-разгрузчику (на верхней части контейнера).

Вентилирование зерна в контейнере 1 осуществляется по замкнутому кругу из нижней части контейнера через патрубок 11 по трубопроводу 4 для активной вентиляции зерновой массы зерно отделяется через циклон 2 и в контейнер 1 рисунок 4.



Рис. 4. Активная вентиляция сои.

[Fig. 4. Active ventilation of soybeans].

Определение скорости воздушного потока.

Измерения воздушного потока проводилось анемометром марки MASTECH® MS6252A данный анемометр является цифровым измерительным прибором и применяется для измерения скорости ветра и расхода воздуха рис. 5.



Рис. 5. Ручной цифровой анемометр MASTECH® MS6252A, измеритель скорости ветра и тестер расхода воздуха.

[Fig. 5. MASTECH® MS6252A handheld digital anemometer, wind speed meter and air flow tester].

Другие возможности экспериментального оборудования.

Процесс разгрузки также может быть смоделирован (рис. 6). Выгрузка зерна из контейнера 1 происходит из нижнего патрубка 11, через трубопровод 5 для выгрузки зерновой массы через циклон 3 и в емкость 8, откуда загружается и куда выгружается зерно.

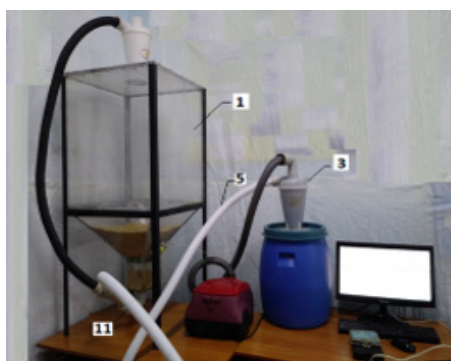


Рис. 6. Загрузка сои из контейнера в барабан.

[Fig. 6. Loading soybeans from the container into the drum].

В настоящем виде экспериментальная установка позволяет увеличение высоты подъема максимум до 2.0 м. Но при ее построении в более подходящем помещении можно проводить эксперименты при изменении высоты подъема в более широких границах.

### Результаты и обсуждение.

Ориентировочные данные о количестве загрузки 1 кг в количестве 1,5 м представлены в таблице 1.

Таблица 1. Экспериментальные данные по времени загрузки и массовому расходу Q были определены для 1 кг сои, транспортируемого на высоту 1,5 м (рис. 3).

| Количество испытаний | Время загрузки, с | Массовый расход Q, кг/ч |
|----------------------|-------------------|-------------------------|
| 1                    | 55                | 65.4                    |
| 2                    | 53                | 66.9                    |
| 3                    | 57                | 64.8                    |
| 4                    | 55                | 65.8                    |
| 5                    | 50                | 67.3                    |
| 6                    | 60                | 66.1                    |
| 7                    | 55                | 66.05                   |
| 8                    | 53                | 66.1                    |
| 9                    | 57                | 66.1                    |
| 10                   | 55                | 65.95                   |
| Средний              | 55                | 66.05                   |

Из полученных данных определяем производительность оборудования по выражению [Turaev и др., 2015].

$$Q = \frac{m \cdot 3600}{\tau_0}, \quad (1)$$

где

$Q$  – массовая производительность, kg/h;

$m$  – масса зерна сои, kg;

$\tau_0$  – время загрузки, s.

Производительность при каждом эксперименте (подсчитана по (1)) и ее средняя стоимость показаны в табл. 1.

### 3.2. Определение энергопотребления

Энергопотребление измеряется в процессе загрузки. Экспериментальные данные о времени загрузки и энергопотреблении для 1 кг сои при транспортировке на высоту 1,5 м представлены в таблице 2.

Таблица 2. Экспериментальные данные по времени загрузки и энергопотреблению P, определенные для 1 кг сои, транспортируемой на высоту 1,5 м (рис. 3).

| Номер теста | Время работы $\tau$ , с | Потребляемая мощность P, Вт |
|-------------|-------------------------|-----------------------------|
| 1           | 55                      | 19                          |
| 2           | 53                      | 17                          |
| 3           | 57                      | 18                          |
| 4           | 55                      | 18                          |
| 5           | 50                      | 19                          |
| 6           | 60                      | 17                          |
| 7           | 55                      | 17                          |
| 8           | 53                      | 19                          |
| 9           | 57                      | 18                          |
| 10          | 55                      | 18                          |
| Средний     | 55                      | 18                          |

Потребление энергии при активном проветривании будет одинаковым, поскольку загрузка и проветривание производится на одной высоте - 1,5 м.

Определение влажности и температуры зерна. Влажность зерна сои при вентилировании в оборудовании определяли следующим способом.

Прибором Framcomp® Wile 65 измерена начальная влажность сои перед вентилированием. После трех часового вентилирования тем же прибором измерена остаточная влажность материала.



Рис. 7. Влагомер зерна Wile 65.

[Fig. 7. Wile 65 grain moisture meter].

При этом к рабочему макету оборудования подключен датчик SOFTRON® SM-200 влажности и температуры (рис. 8) со следующими параметрами:

Диапазон и точность измерения температуры:  $-40... +60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Диапазон и точность измерения влажности:  $0... 100\text{ } \%, \pm 4.5\text{ } \%$



Рис. 8. Датчик температуры и влажности SOFTRON® SM-200.

[Fig. 8. SOFTRON® SM-200 temperature and humidity sensor].

Датчик подключается к компьютеру через адаптер и регулируется с помощью программного обеспечения системы «Страж-Климат» (Alarm-Climate.HT1), которое обеспечивает непрерывный контроль, отображение текущих значений и ведение архива температуры и влажности во время вентиляции и хранения. В программе устанавливается max, min значение влажности и температуры [<http://softtron.com.ua>]. Полученные сводки влажности и температуры за время работы в оборудовании рисунки 9, 10, и 11.

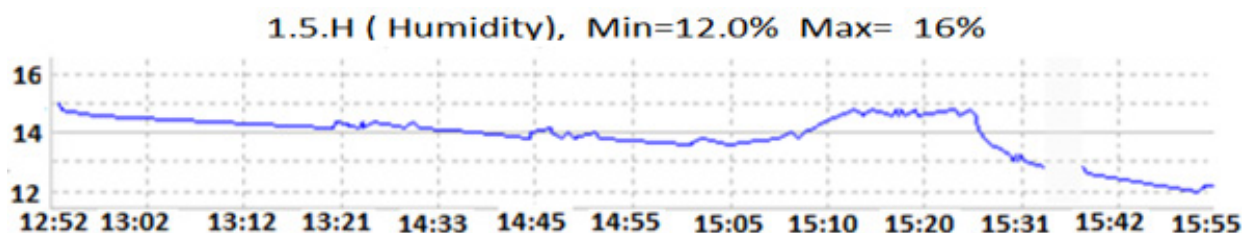


Рис 9. Сводка влажности зерна сои за период вентилирования

Определение скорости воздушного потока.

Основным составляющим производительности процесса является скорость транспортирования с воздушным потоком, которая должна быть 1.5-2 раза больше скорости витания сои [Martyanova,

2017].

Скорость витания сои определена отдельным экспериментом [Asoiro, 2014] в лаборатории “Сельскохозяйственная инженерия и технологии” Казахского научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства, Алматы, Казахстан (рис. 12). По результатам исследования скорость витания сои в среднем составила  $v_0 = 13 \text{ m/s}$ . На созданной экспериментальной установке определено, что для подъема зерновой массы на высоту  $H = 1.5 \text{ m}$  (рис.3), необходима скорость воздуха  $v = 20 \text{ m/s}$ , а на высоту  $H = 2 \text{ m} - 20.1 \text{ m/s}$ . Эта стоимость может послужить отправной точки подсчета необходимой скорости воздуха для других высот подъема [Voskresenskiy, 2008], see Paragraph 4.3.

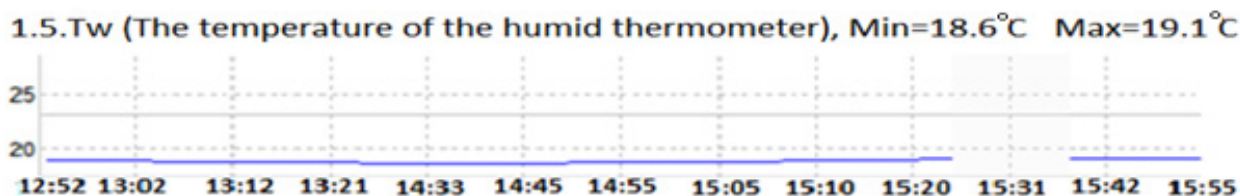


Рис. 10. Сводка температура влажного термометра за период вентилирования

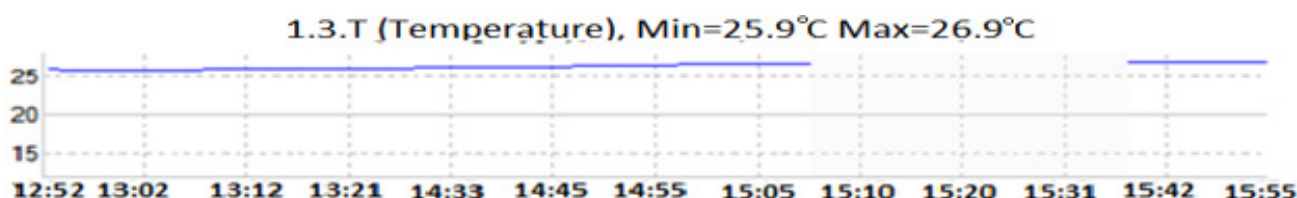


Рис. 11. Сводка температуры зерна за период вентилирования.  
[Fig. 11. Summary of grain temperature over the ventilation period].



Рис. 12. Экспериментальное оборудование для определения конечной скорости (в лаборатории “Сельскохозяйственная техника и технологии” Казахского научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства, Алматы, Казахстан): 11– вентилятор, 2 – регулятор расхода воздуха, 3 – цифровой анемометр ветряка, 4 – механический анемометр ветряка.

[Fig. 12. Experimental equipment for determining the terminal velocity (in the Laboratory of Agricultural Machinery and Technologies of the Kazakh Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture, Almaty, Kazakhstan): 1 – fan; 2 – airflow regulator; 3 – digital vane anemometer; 4 – mechanical vane anemometer].

### Анализ результатов.

Основные параметры экспериментальной установки:

В часть экспериментов определены некоторые параметры экспериментальной установки:

- Расход материала (сои) (раздел 3.1);
- Потребляемая мощность (раздел 3.2);
- Скорость воздушного потока (раздел 3.4);

Результаты показали, что предложенная экспериментальная установка дает возможность адекватно моделировать процесс хранения зерна в контейнерах с активным вентилированием и проводить опыты с регулированием основных параметров как производительность, потребление энергии, влажность и др. с использованием современных методов, приборов и цифровых технологий.

От полученных в 3.1. результатов средняя производительность material flow rate установки  $Q = 66.06 \text{ кг/ч}$ . В таком случае при 10 часовой рабочей сутки ее производительность будет  $Q_{dav} = 660.6 \text{ кг/день} = 0.6609 \text{ t/день}$ . Потребляемая в сутки мощность находится на уровне  $P_{dav} = 1.178 \text{ kWh}$ . При

этом удельная энергоемкость процесса составляет  $P_{dav}/Q_{dav} = 1.78 \text{ kWh/t}$ .

Эти результаты подтверждают результатов, полученные при вычислении при помощи предложенной в [Duisenova и др., 2019] методики. Разница между теоретическими и экспериментальными результатами составляет до 5 %.

Экспериментальное исследование режима вентилирования.

Проведены эксперименты в режиме вентилирования (Section 3.3) для определения:

- Изменение влажности;
- Изменение температуры.

Прибором Framcomp® Wile 65 (рис. 7) измерено:

- Начальная влажность: 15 %;
- Влажность после тричасового вентилирования: 11.8 %.

Такие же результаты получены тегловным способом [ГОСТ 13586.5, 2015].

Это свидетельствует о снижении влажности сои на 3.2 % за указанное время. Наряду с этим с использованием системы «Strazh Klimat» контролировали влажность и температуру воздуха в контейнере за время проведения эксперимента. Перед проветриванием влажность материала должна составлять 15 %, а влажность в контейнере - 40,5 %. В конце процесса проветривания эти значения составляют 11,8 % и 39 % соответственно. Эта корреляция полезна для управления реальным складским оборудованием (рис.1), где панель управления показывает только уровень влажности. Наблюдение температуры и влажности в контейнере экспериментальной установки дает возможность изучить их влияние на процессе сушки, а также влияние вентилирования на их стоимостей.

Полученные результаты могут быть использованы при математическом моделировании процесса сушки [Atykhonov и др., 2015] в реальном оборудовании для хранения сои.

Скорость воздушного потока.

На созданной экспериментальной установке установлено, что для подъема зерновой массы на высоту  $H = 1.5 \text{ m}$ , необходима скорость воздуха  $v = 20 \text{ m/s}$ , а на высоту  $H = 2 \text{ m}$  –  $20.1 \text{ m/s}$ . При помощи этой стоимости можно определить необходимую скорость воздуха для других высот подъема [Vokresenskiy, 2008].

В лаборатории “Сельскохозяйственная инженерия и технологии” Казахского научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства, Алматы, Казахстан были проведены эксперименты для установления необходимой скорости воздуха для подъема зерновой масс, на различной высоте. Эта экспериментальная установка позволяет измерения до высоты 18 метров. Полученные результаты показаны на рис. 13. Эта зависимость представляет интерес и подлежит проверке на созданной экспериментальной установке (рис.2) после ее доработки для увеличения возможной высоты подема. Эксперименты в том плане планируются и в реальных условиях на существующих установках (рис. 1).

Предложенный график может быть использован для дальнейшего выбора соответствующих параметров контейнерно-модульного оборудования для хранения сои с активным вентилированием.

При теоретических подсчетах установлено, что для подъема зерновой массы на высоту 18 метров необходимая расчетная скорость воздушного потока должна быть  $26.6 \text{ m/s}$  [Atykhonov и др., 2019].

В практике для определения скорости воздушного потока обычно используется зависимость [Martyanova, 2017].

$$v = 2v_0 = 2 \cdot 13 = 26 \text{ m/s} \quad (2)$$

Эксперименты показали, что эта скорость достаточна для подъема до 18 метров, но при более высоких конвейерах ее надо увеличивать.

При том для сои известно, что скорость воздуха не должна превышать  $30 \text{ m/s}$ , увеличение скорости воздуха транспортирования может привести к дроблению зерна [<https://chem21.info/info/1606838/>]. Скорость транспортирующего потока при вертикальном пневмотранспорте).

Экспериментальные исследования на созданной экспериментальной установке позволяют более четко определить скорость воздуха в рассматриваемых пневмоконвейерах.

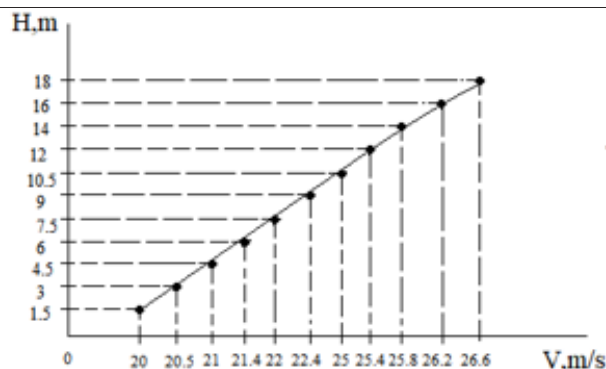


Рис. 13. График зависимости высоты подъема зерна сои от скорости воздушного потока.  
[Fig. 13. Graph showing the relationship between soybean grain lifting height and airflow velocity].

Предложенный график может быть использован для дальнейшего выбора соответствующих параметров контейнерно-модульного оборудования для хранения сои с активным вентилированием.

### Выводы.

В данной работе нашли отражения следующие позиции.

Разработали экспериментальную макетную установку, адекватно моделирующую предложенную технологию хранения сои с активным вентилированием.

На экспериментальной макетной установке провели опыты и исследовали производительность, потребляемую мощность процесса, а также влажность сои при вентилировании.

Установили что полученные данные производительности и мощности при теоретическом расчете близки по значениям экспериментальным данным с отклонением до 5 %. Потверждены теоретические результаты о величине необходимой скорости воздушного потока для подъема зерновой массы на высоту 18 метров.

Предложенный график выбора скорости воздушного потока для подъема на определенную высоту позволит выбрать соответствующие технологические параметры процесса и оборудование.

### REFERENCES

- Aniskin V.I. (1972). Theory and technology of drying and temporary preservation of grain by active ventilation. — M., VIM [In Russ.].
- Asoiro F.U. & Chidebeluq J.C. (2014). Effect of moisture content on aerodynamic properties of corn seeds (*Zea mays*) // Journal of Agricultural Engineering and Technology. 22(4). 56–65.
- Atyhanov A.K., Duisenova S.T. & Karaivanov D.P. (2018). Development of equipment for the storage of soybeans with active ventilation // Mechanization in Agriculture & Conserving of the Resources. 64(1). 8–10.
- Atyhanov A., Duisenova S.T., Karaivanov D. (2019). Container-modular equipment for the storage of soybeans with active ventilation for farms of Kazakhstan // Eurasian Journal of Biosciences. 13(2). 1057–1065.
- Atyhanov A.K., Karaivanov D.P., Duisenova S.T. (2018). Equipment for storage of grain material with active ventilation. Patent KZ. U 3135. A01F 25/00. (24.09.2018).
- Karaivanov D.P., Duisenova S.T., Atykhanov A.K., Kasymbaev B.M., Kalym K., Sagyndykova A. (2020). Experimental Equipment for Investigation of Soybean Storage with Active Ventilation // Journal of Ecological Engineering. 21(3). 117–127.
- Chang C.S., Converse H.H. & Steele J.L. (1993). Modeling of temperature of grain during storage with aeration. Trans. ASAE. St.Joseph(Mich.). 36(2). 509–519.
- Duisenova S., Atykhanov A. & Karaivanov D. (2019). Justification of the parameters of a pneumatic conveyor for active ventilation of soybean during storage. MATEC Web of Conferences, 287 (6th International BAPT Conference “Power Transmissions 2019”, Edited by D. Karaivanov. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928704004>).
- GOST 13586.5 (2015). Grain. Method for determination of moisture content.
- Kazanina M.A. (1988). Processing and storage of agricultural production. — Uradzhay, Minsk [In Russ.].
- Lamond W.J. & Graham R. (1993). The relationship between the equilibrium moisture content of grass mixtures and the temperature and humidity of the air. // Journal of Agricultural Engineering Research. 52(4). 327–335
- MAK – Ministry of Agriculture of the Kazakhstan. (2015). On approval of the rules for storage of grain. Order of the Minister of Agriculture of the Republic of Kazakhstan dated June 26. 2015. No. 11839 [In Kaz.].
- Martyanova A.Y. (2017). Improving the methods for calculating vacuum dedusting systems in cement and dry building mixtures plants. Ph.D. thesis, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Russian Federation.
- Parimala K., Subramanian S., Mahalinga Kannan S. & Vijayalakshmi K. (2013). Seed storage techniques – a primer. CIKS. — Chennai, India.
- Sakun V.A. (1974). Drying and active ventilation of grain and green feed. — M., Kolos [In Russ.].
- Singh, G. (2010). The Soybean: Botany, production and uses. CABI, Wallingford, UK.
- Turaev N.S., Brus I.D. & Kantaev A.S. (2015). Calculation of pneumatic conveying installations. —Tomsk, Polytechnic University of Tomsk Publisher [In Russ.].
- Vasilev A.N. (1986). Statistical characteristics of atmospheric parameters for active seed ventilation. Automation and computers in agricultural production. Proceedings of V.P. Grachenkin MIISP. 77–82 [In Russ.].
- Voskresenskiy V.E. (2008). Pneumatic conveying, dust collection, and ventilation systems at woodworking plants. Theory and practice. — Politehnika, Saint-Petersburg.

Yukish A.E. & Ilina O.A. (2009). Machinery and technology of grain storage. DeLi, — M.  
<http://softron.com.ua/>. Monitoring system Alarm-Climate.HT1.  
<https://chem21.info/info/1606838/>. Скорость транспортирующего потока при вертикальном пневмотранспорте.  
Polat R., Atay U. & Saglam C. (2006). Some Physical and Aerodynamic Properties of Soybean // Journal of Agronomy. 5(1). 74–78.

**Калым Кабдырахим** — Теоретический анализ, постановка задач, разработка методологии исследования.

**Дуйсенова Шолпан Турановна** — Моделирование, расчет, анализ результатов, контроль исследования.

**Демесова Сәуле Талғатқызы** — Подготовка введения, анализ литературы.

**Жунусова Айза Қадыржанқызы** — Методическое обеспечение, подбор литературы, помощь в расчетах.



*D. Karmanov, Zh. Zhumagulov\*, Y. Sarkynov, R. Kassimova*

NAO «Kazakh National Agrarian Research University», Almaty, Kazakhstan.

E-mail: [zhandos.zhumagulov@kaznaru.edu.kz](mailto:zhandos.zhumagulov@kaznaru.edu.kz)

## ENGINEERING OPTIMIZATION AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF A ROTARY UNIT FOR PRE-SOWING SOIL TILLAGE AND SEED SOWING FOR SOILS OF SOUTHERN KAZAKHSTAN

**Karmanov Darkhan**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Lecturer, NJSC «Kazakh National Agrarian Research University», Kazakhstan, Almaty, Abaya ave., 8

E-mail: [karmanov.darkhan@kaznaru.edu.kz](mailto:karmanov.darkhan@kaznaru.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-0924-5234>;

**Zhumagulov Zhandos**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Lecturer, NJSC «Kazakh National Agrarian Research University», Kazakhstan, Almaty, Abaya ave., 8

E-mail: [zhandos.zhumagulov@kaznaru.edu.kz](mailto:zhandos.zhumagulov@kaznaru.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-1813-902X>;

**Sarkynov Yerbol**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Senior Lecturer, NJSC «Kazakh National Agrarian Research University», Kazakhstan, 050010, Almaty, Abaya ave., 8

E-mail: [yerbol.sarkynov@kaznaru.edu.kz](mailto:yerbol.sarkynov@kaznaru.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-6412-7153>;

**Kassimova Rezvangul**, Master of Engineering Sciences, Senior Lecturer, NJSC «Kazakh National Agrarian Research University», Kazakhstan, 050010, Almaty, Abaya ave., 8

E-mail: [rezvangul.kassimova@kaznaru.edu.kz](mailto:rezvangul.kassimova@kaznaru.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0008-1855-2846>.

**Abstract.** Pre-sowing soil tillage under irrigated agriculture conditions is characterized by high energy intensity and significant mechanical impact on the soil structure of the southern region. The soil cover of Southern Kazakhstan is predominantly represented by dark chestnut, chestnut, as well as brown and grey-brown soils located south of the chestnut zone and occupying about 120 million hectares (44 % of the republic's territory). The low humus content (1.0–2.0 %) determines their weak structure and increased sensitivity to intensive mechanical treatment; therefore, efficient farming in this zone is mainly possible under irrigation and the use of resource-saving technologies. The paper presents the results of engineering optimization and experimental studies of a rotary unit designed to simultaneously perform pre-sowing soil tillage and seed sowing in a single technological pass. The study includes analytical modeling of the interaction between working bodies and soil, optimization of geometric parameters of rotary blades, and comparative field tests of an experimental prototype (FS-2.1). A rational blade installation angle of 54–56° has been established, ensuring a reduction in the specific cutting area by approximately 22 % and a decrease in soil resistance to tillage. Field tests demonstrated the formation of a high-quality seedbed: the content of aggregates smaller than 25 mm reached 85.2 %, while the deviation in surface leveling did not exceed 5 mm. Compared with the conventional multi-pass technology, reductions in draft resistance, fuel consumption, and total energy costs by 38 %, 43 %, and 54.5 %, respectively, were recorded. The obtained results confirm that optimization of the parameters of rotary working bodies and the integration of tillage and sowing operations ensure improved energy efficiency of the technological process without deterioration of agrotechnical indicators. The developed unit can serve as a basis for the implementation of resource-saving crop cultivation technologies under irrigated conditions of Southern Kazakhstan and similar agro-climatic zones.

**Keywords:** rotary unit; pre-sowing soil tillage; seed sowing; optimization of working bodies; energy efficiency; irrigated agriculture; chestnut, brown and grey-brown soils

**For citation:** Karmanov D.K., Zhumagulov Zh.B., Sarkynov Y., Kassimova R.M. (2026). Engineering

Optimization and Experimental Investigation of a Rotary Unit for Pre-Sowing Soil Tillage and Seed Sowing for Soils of Southern Kazakhstan // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 221–233. <https://doi.org/10.37884/4-2026/18> [In Russ.].

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

*Д.К. Карманов, Ж.Б. Жумагулов\*, Е. Саркынов, Р.М. Касимова*

«Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КеАҚ, Алматы, Қазақстан.

E-mail: zhandos.zhumagulov@kaznaru.edu.kz

## ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН Өңірінің топырақтарына арналған егіс алдындағы топырақ өңдеу және тұқым себуге арналған роторлы агрегатты инженерлік оңтайландыру және эксперименттік зерттеу

**Карманов Дархан Кабдыкалыкович**, техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, «Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КеАҚ, Қазақстан, 050010, Алматы, Абай даңғылы, 8

E-mail: karmanov.darkhan@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0924-5234>;

**Жумагулов Жандос Боранбаевич**, техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, «Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КеАҚ, Қазақстан, 050010, Алматы, Абай даңғылы, 8

E-mail: zhandos.zhumagulov@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1813-902X>;

**Саркынов Ербол**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КеАҚ, Қазақстан, 050010, Алматы, Абай даңғылы, 8

E-mail: yerbol.sarkynov@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-6412-7153>;

**Касимова Резвангуль Меретаевна**, техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, «Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КеАҚ, Қазақстан, 050010, Алматы, Абай даңғылы, 8

E-mail: rezvangul.kassimova@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0008-1855-2846>.

**Аннотация.** Суармалы егіншілік жағдайында егіс алдындағы топырақ өңдеу жоғары энергия сыйымдылығымен және оңтүстік аймақтың топырақ құрылымына елеулі механикалық әсерімен сипатталады. Оңтүстік Қазақстанның топырақ жамылғысы негізінен қара-қоңыр, қоңыр, сондай-ақ қоңыр және сұр-қоңыр топырақтардан тұрады, олар қоңыр топырақтардың оңтүстігінде орналасқан және республика аумағының шамамен 120 млн гектарын (44 %) қамтиды. Гумус мөлшерінің төмендігі (1,0–2,0 %) олардың құрылымының әлсіздігін және қарқынды механикалық өңдеуге жоғары сезімталдығын анықтайды, осыған байланысты аталған аймақта тиімді егіншілік негізінен суару және ресурсты үнемдейтін технологияларды қолдану арқылы жүзеге асырылады. Жұмыста бір технологиялық өтуде топырақты егіс алдындағы өңдеу мен тұқым себуді қатар орындауға арналған роторлы агрегатты инженерлік оңтайландыру және эксперименттік зерттеу нәтижелері ұсынылған. Зерттеу жұмыс органдарының топырақпен өзара әрекеттесуін аналитикалық модельдеуді, роторлы пышақтардың геометриялық параметрлерін оңтайландыруды және тәжірибелік үлгінің (ФС-2,1) салыстырмалы далалық сынақтарын қамтиды. Пышақтарды орнатудың тиімді бұрышы 54–56° екені анықталды, бұл кесу алаңының меншікті шамамен 22 %-ға төмендеуін және топырақтың өңдеуге кедергісінің азаюын қамтамасыз етеді. Далалық сынақтар сапалы себу төсегінің қалыптасуын көрсетті: өлшемі 25 мм-ден кіші агрегаттардың үлесі 85,2 %-ды құрады, ал беткі қабаттың тегістігінің ауытқуы 5 мм-ден аспады. Дәстүрлі көп өтімді технологиямен салыстырғанда тарту кедергісі, отын шығыны және жалпы энергетикалық шығындар тиісінше 38 %, 43 % және 54,5 %-ға төмендегені анықталды. Алынған нәтижелер роторлы жұмыс органдары параметрлерін оңтайландыру және топырақ өңдеу мен себу операцияларын біріктіру агротехникалық көрсеткіштерді нашарлатпай, технологиялық үдерістің энергия тиімділігін арттыруды қамтамасыз ететінін дәлелдейді. Өзірленген агрегат Оңтүстік Қазақстанның суармалы егіншілік жағдайында және ұқсас табиғи-климаттық аймақтарда ресурсты үнемдейтін технологияларды енгізудің негізі бола алады.

**Түйін сөздер:** роторлы агрегат; егіс алдындағы топырақ өңдеу; тұқым себу; жұмыс органдарын оңтайландыру; энергия тиімділігі; суармалы егіншілік; қоңыр, қара-қоңыр, қоңыр және сұр-қоңыр топырақтар

**Дәйексөз үшін:** Карманов Д.К., Жумагулов Ж.Б., Саркынов Е., Касимова Р.М. (2026). Оңтүстік

Қазақстан өңірінің топырақтарына арналған егіс алдындағы топырақ өңдеу және тұқым себуге арналған роторлы агрегатты инженерлік оңтайландыру және эксперименттік зерттеу // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 221–233. <https://doi.org/10.37884/4-2026/18> [In Russ.].

**Мүдделер қақтығысы:** авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

*Д.К. Карманов, Ж.Б. Жумагулов\*, Е. Саркынов, Р.М. Касимова*

НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Алматы, Казахстан.

E-mail: [zhandos.zhumagulov@kaznaru.edu.kz](mailto:zhandos.zhumagulov@kaznaru.edu.kz)

## **ИНЖЕНЕРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РОТОРНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ПОСЕВА СЕМЯН ДЛЯ ПОЧВ ЮЖНОГО РЕГИОНА КАЗАХСТАНА**

**Карманов Дархан Кабдыкалыкович**, кандидат технических наук, старший преподаватель, НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Казахстан, 050010, Алматы, пр. Абая, 8

E-mail: [karmanov.darkhan@kaznaru.edu.kz](mailto:karmanov.darkhan@kaznaru.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-0924-5234>;

**Жумагулов Жандос Боранбаевич**, кандидат технических наук, старший преподаватель, НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Казахстан, 050010, Алматы, пр. Абая, 8

E-mail: [zhandos.zhumagulov@kaznaru.edu.kz](mailto:zhandos.zhumagulov@kaznaru.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-1813-902X>;

**Саркынов Ербол**, кандидат технических наук, профессор, НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Казахстан, 050010, Алматы, пр. Абая, 8

E-mail: [yerbol.sarkynov@kaznaru.edu.kz](mailto:yerbol.sarkynov@kaznaru.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-6412-7153>;

**Касимова Резвангуль Меретаевна**, магистр технических наук, старший преподаватель, НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Казахстан, 050010, Алматы, пр. Абая, 8

E-mail: [rezvangul.kassimova@kaznaru.edu.kz](mailto:rezvangul.kassimova@kaznaru.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0008-1855-2846>.

**Аннотация.** Предпосевная обработка почвы в условиях орошаемого земледелия характеризуется высокой энергоёмкостью и значительным механическим воздействием на почвенную структуру южного региона. Почвенный покров Южного Казахстана представлен преимущественно тёмно-каштановыми, каштановыми, а также бурыми и серо-бурыми почвами, расположенными южнее каштановых и занимающими около 120 млн га (44 % территории республики). Низкое содержание гумуса (1,0–2,0 %) обуславливает их слабую структурность и повышенную чувствительность к интенсивной механической обработке, в связи с чем эффективное земледелие в данной зоне возможно главным образом при орошении и применении ресурсосберегающих технологий. В работе представлены результаты инженерной оптимизации и экспериментальных исследований роторного агрегата, предназначенного для совмещённого выполнения предпосевной обработки почвы и посева семян за один технологический проход. Исследование включает аналитическое моделирование взаимодействия рабочих органов с почвой, оптимизацию геометрических параметров роторных ножей и сравнительные полевые испытания экспериментального образца (ФС-2,1). Установлен рациональный угол установки ножей 54–56°, обеспечивающий снижение удельной площади резания примерно на 22 % и уменьшение сопротивления почвы обработке. Полевые испытания показали формирование качественного посевного ложа: содержание агрегатов размером менее 25 мм составило 85,2 %, отклонение выравнивания поверхности не превышало 5 мм. По сравнению с традиционной многопроходной технологией зафиксировано снижение тягового сопротивления, расхода топлива и суммарных энергетических затрат соответственно на 38 %, 43 % и 54,5 %. Полученные результаты подтверждают, что оптимизация параметров роторных рабочих органов и совмещение операций обработки почвы и посева обеспечивают повышение энергоэффективности технологического процесса без ухудшения агротехнических показателей. Разработанный агрегат может служить основой для внедрения ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур в условиях орошаемого земледелия Южного Казахстана и аналогичных

природно-климатических зон.

**Ключевые слова:** роторный агрегат; предпосевная обработка почвы; посев семян; оптимизация рабочих органов; энергоэффективность; орошаемое земледелие; каштановые, бурые и серо-бурые почвы

**Для цитирования:** Карманов Д.К., Жумагулов Ж.Б., Саркынов Е., Касымова Р.М. (2026). Инженерная оптимизация и экспериментальное исследование роторного агрегата для предпосевной обработки почвы и посева семян для почв Южного региона Казахстана // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 4. Number 112. Pp. 221–233. <https://doi.org/10.37884/4-2026/18> [In Russ.].

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Работа выполнена при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP08052321 «Разработка ресурсосберегающего комбинированного агрегата для предпосевной обработки почвы и посева семян на орошаемых землях Южного региона Казахстана», а также проекты № AP32715643 и № AP32715817).*

**Авторы выражают благодарность:** ТОО «Научно-производственный центр Агроинженерии» – за изготовление экспериментальных образцов;

ТОО «Казахский НИИ земледелия и растениеводства» – за предоставление опытных полей и содействие в проведении испытаний;

инженерам, техникам и специалистам, участвовавшим в изготовлении, обслуживании и сборе экспериментальных данных.

## Введение.

Предпосевная обработка почвы является одной из наиболее энергоёмких технологических операций в системах орошаемого земледелия. В традиционной практике подготовка поля выполняется в несколько этапов, включающих основную обработку, предпосевное рыхление, выравнивание поверхности и последующий посев. Многократное прохождение агрегатов по одному и тому же участку, особенно в условиях увлажнённой почвы, приводит к повторному уплотнению пахотного слоя, разрушению природной структуры и возрастанию энергетических затрат. Повторяющееся механическое воздействие на почвенный профиль сопровождается увеличением тягового сопротивления, расхода топлива и общего уровня техногенной нагрузки на агроландшафт [Карманов, 2022a: 25–41; Chatkin, 2022: 539–551; Mohammad, 2015: 11–22].

Для южных регионов Казахстана – Туркестанской, Жамбылской, Кызылординской и Алматинской областей – указанные проблемы приобретают особую актуальность в связи со специфическими почвенно-климатическими условиями. Орошаемое земледелие здесь преимущественно развивается на серозёмных почвах, которые характеризуются сложным пространственным строением и нередко образуют мозаичные сочетания со светло-каштановыми суглинистыми разновидностями, солонцеватыми включениями и другими интразональными образованиями. Такая неоднородность обуславливает значительные колебания физических и механических характеристик – плотности сложения, сцепления частиц, сопротивления сдвигу. В результате работа почвообрабатывающих машин сопровождается нестабильными нагрузками, ухудшением качества крошения и избыточным потреблением энергии при использовании традиционных технологий обработки [Mohammad, 2015: 11–22; Gribanovsky и др., 2017: 1307–1316].

В последние годы в качестве альтернативы многопроходным схемам всё более активно рассматриваются технологии совмещённой обработки почвы и посева, выполняемые за один технологический проход. Их применение позволяет уменьшить суммарное механическое воздействие на почву, сократить количество проходов техники и, как следствие, снизить энергетические и эксплуатационные затраты. Результаты ряда исследований свидетельствуют о заметном уменьшении расхода топлива и повышении производственной эффективности при интеграции операций обработки и посева в единый процесс [Karmanov, 2022b: 45–52; Karmanov, 2022c: 64–72; Karmanov и др., 2022: 108–119]. Вместе с тем значительная часть существующих комбинированных машин разрабатывалась для агрегатирования с тракторами высокой мощности и проектировалась на основе преимущественно эмпирического подбора параметров рабочих органов. Это ограничивает их применение в условиях орошаемых агро-систем Центральной Азии, где широко используются тракторы средней тяговой категории и требуется

более щадящее воздействие на почву [Karmanov, 2022с: 64–72; Karmanov и др., 2022: 108–119].

Одним из перспективных направлений совершенствования предпосевной подготовки является использование роторных рабочих органов, способных эффективно формировать мелкокомковатую структуру почвы даже на связных и увлажнённых грунтах. Однако энергетические показатели таких органов в значительной степени определяются их геометрическими и кинематическими параметрами – формой ножа, углом его установки, скоростным режимом взаимодействия с почвой. Исследования в области механики резания почвы показывают, что изменение ориентации ножа и траектории его движения существенно влияет на характер разрушения почвенного массива, величину реакционных усилий и потребность в крутящем моменте [Dubrovsky, 2021: 47–56; Chen, 2019: 104335; Sakai, 2008: 187–198; Sudhakar, 2012: 1–7]. Несмотря на это, количественная взаимосвязь между параметрами роторных рабочих органов, локализацией зоны обработки и энергетической эффективностью комбинированных агрегатов остаётся недостаточно изученной.

Таким образом, существует необходимость в разработке научно обоснованных подходов к проектированию почвообрабатывающе-посевных машин, учитывающих не только технологические требования, но и закономерности механического взаимодействия системы «рабочий орган – почвенная среда». Инженерная новизна настоящего исследования заключается в установлении количественной зависимости между геометрией роторных ножей, механикой процесса резания почвы и энергетическими характеристиками технологической системы в условиях орошения. В отличие от традиционных эмпирических методов проектирования предложенный подход основан на сочетании аналитической оптимизации параметров рабочих органов с последующей экспериментальной проверкой в полевых условиях, что обеспечивает воспроизводимость полученных решений и возможность их адаптации к малогабаритным комбинированным агрегатам для фермерских хозяйств, агрегируемого с тракторами класса тяги 0,6...1,4 кН. [Sakai, 2008: 187–198; Wang, 2014: 467–476; Zhang, 2019: 100–109; Bernatsky, 1985: 145–162].

Исходя из обозначенной научно-технической проблемы, целью работы является разработка и экспериментальное обоснование комбинированного роторного агрегата для выполнения предпосевной обработки почвы и посева семян за один проход. Для достижения этой цели использованы методы аналитического моделирования взаимодействия рабочих органов с почвой, инженерной оптимизации конструктивных параметров и сравнительной полевой оценки эффективности агрегата в условиях орошаемых почв Южного Казахстана.

### **Материалы и методы.**

#### *Инженерная концепция и конструкция экспериментального образца.*

Комбинированный агрегат разработан на основе системного инженерного подхода, направленного на снижение совокупного механического воздействия на почву, энергозатрат и металлоёмкости при выполнении предпосевных операций в условиях орошения. Ключевая идея заключалась в интеграции роторной обработки почвы и точного высева в рамках однопроходного технологического процесса с полосным воздействием, при котором интенсивная механическая обработка ограничивается исключительно зонами размещения рядков.

Принятая конструктивная схема (рисунок 1) представляет собой навесной агрегат с приводом от вала отбора мощности (ВОМ) трактора. Основными элементами конструкции являются сварная прямоугольная рама (7), редуктор (2) для передачи мощности, высевающий аппарат катушечного типа (4) и активная роторная фрезерная секция (3). Фрезерная секция оснащена двумя роторами с Г-образными ножами, каждый из которых работает в пределах заданной ширины обрабатываемой полосы. Роторы закрыты защитным кожухом. Регулирование глубины обработки осуществляется системой опорных колёс (8), а уплотнение почвы после посева обеспечивается двумя прикатывающими колёсами (6). Передача мощности от ВОМ трактора осуществляется через карданный вал (1) к редуктору (2), после чего посредством цепных передач (5) вращение распределяется на роторные рабочие органы и механизм дозирования семян.

Рабочая глубина обработки регулируется опорными колёсами, установленными на раме, что обеспечивает устойчивое заглубление рабочих органов при изменяющемся сопротивлении почвы. Уплотнение почвы после высева осуществляется прикатывающими колёсами, расположенными непосредственно за высевающими аппаратами. Передача мощности осуществляется от ВОМ трактора к редуктору, а затем через цепные передачи распределяется на роторные барабаны и механизмы высева,

обеспечивая кинематическую согласованность процессов обработки почвы и размещения семян.

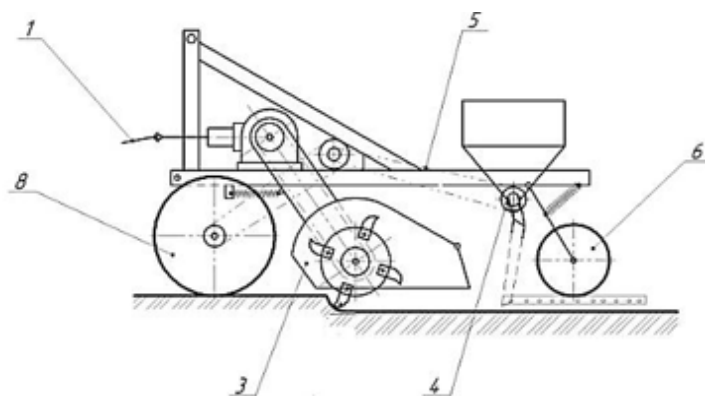


Рис. 1. Схема компоновки комбинированного агрегата для полосной обработки почвы и посева семян. Основные элементы: (1) карданная передача от вала отбора мощности (ВОМ), (2) редуктор, (3) роторная почвообрабатывающая секция с Г-образными ножами, (4) высевальной аппарат точного высева, (5) цепная передача, (6) прикатывающее колесо, (7) несущая рама, (8) опорное (копирующее) колесо.

[Fig. 1. Layout diagram of a combined unit for strip tillage and seed sowing. Main components: (1) power take-off (PTO) shaft drive; (2) gearbox; (3) rotary tillage section with L-shaped blades; (4) precision seed metering unit; (5) chain drive; (6) press wheel; (7) supporting frame; (8) gauge (depth-control) wheel].

### Техническая характеристика экспериментального образца.

Опытный образец FS-2.1 изготовлен в соответствии с утверждённой конструкторской документацией и адаптирован для работы с тракторами малой тяговой мощности, широко применяемыми в системах орошаемого земледелия Южного Казахстана [Karmanov, 2022b: 45–52; Karmanov, 2022c: 64–72; Karmanov и др., 2022: 108–119].

Таблица 1. Основные технические характеристики комбинированного агрегата FS-2.1.

| Параметры                                              | Значение                                                                        |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Тип машины                                             | Комбинированный агрегат для полосной обработки почвы и посева с приводом от ВОМ |
| Обозначение модели                                     | ФС-2,1                                                                          |
| Общая рабочая ширина захвата (м)                       | 2,1                                                                             |
| Количество полос роторной обработки                    | 4                                                                               |
| Рабочая ширина одной полосы (м)                        | 0,35                                                                            |
| Диапазон глубины роторной обработки (м)                | 0,08–0,16                                                                       |
| Диапазон глубины заделки семян (м)                     | 0,07–0,10                                                                       |
| Регулируемое междурядье (м)                            | 0,35–0,70                                                                       |
| Рабочая скорость (км·ч <sup>-1</sup> )                 | до 8                                                                            |
| Теоретическая производительность (га·ч <sup>-1</sup> ) | до 2,4                                                                          |
| Требуемая мощность трактора (кВт)                      | ≥59                                                                             |
| Полная масса (кг)                                      | 920                                                                             |

Все эксплуатационные показатели, представленные в разделе 3, получены при использовании конфигурации агрегата ФС-2,1, приведённой в таблице 1.



Рис. 2. Экспериментальный образец (FS-2.1).

Experimental prototype (FS-2.1).]

### *Теоретические предпосылки и оптимизация геометрии роторных ножей.*

Оптимизация геометрии роторных ножей основывалась на аналитической модели резания почвы, учитывающей механические свойства орошаемых серозёмных почв и кинематические параметры роторной обработки [Karmanov, 2022с: 64–72]. Анализ был направлен на определение толщины срезаемой стружки почвы, удельной площади резания и последовательности взаимодействия ножа с почвой.

Удельная площадь резания определялась следующим выражением:

$$A_B = \frac{b \cdot h}{\sin \alpha} \quad (1)$$

где

$b$  – ширина ножа,

$h$  – глубина обработки,

$\alpha$  – угол установки ножа.

Параметрический анализ показал, что увеличение угла  $\alpha$  способствует переходу к срезающему (скалывающему) механизму разрушения почвы, что приводит к уменьшению эффективной площади резания и снижению энергозатрат. Оптимальный угол установки ножа составляет  $54\text{--}56^\circ$ , при котором расчётное снижение удельной площади резания достигает примерно 22 %.

### *Модель взаимодействия «почва–нож» и кинематические ограничения.*

Для обеспечения устойчивого крошения почвы и предотвращения её накопления под роторным барабаном было составлено уравнение равновесия сил, действующих на элемент почвенной стружки при взаимодействии с ножом. Условие, предотвращающее перенос частиц почвы вперёд по ходу вращения, выражается следующим соотношением [Karmanov, 2022b: 45–52; Karmanov, 2022с: 64–72]:

$$mg \sin(\alpha - \varepsilon_0) > f[m\omega^2 R \cos \varepsilon_0 + g \cos(\alpha - \varepsilon_0)] + mR\omega^2 \sin \varepsilon_0 \quad (2)$$

где:

$f$  – коэффициент трения почвы о поверхность ножа;

$M$  – масса элемента почвенной стружки (кг);

$\omega$  – угловая скорость вращения барабана (рад/с);

$\varepsilon_0$  – задний угол ножа (град);

$R$  – радиус барабана (м).

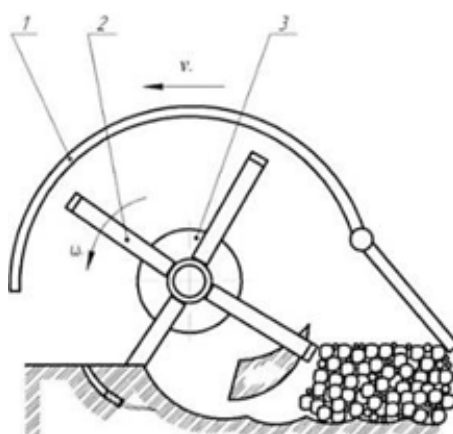


Рис. 3. Схема процесса резания почвы роторными рабочими органами: защитный кожух, Г-образные ножи, роторный барабан, угловая скорость и поступательная скорость движения агрегата.

[Fig. 3. Schematic of the soil cutting process by rotary working elements: protective guard, L-shaped blades, rotary drum, angular velocity  $\omega$ , and forward travel velocity  $v$  of the unit].

Решение данного неравенства позволяет определить предельную частоту вращения, обеспечивающую эффективный выброс почвы и устойчивые условия резания. На основании проведенного анализа оптимальный угол установки ножей принят равным  $54\text{--}56^\circ$ , что обеспечивает стабильную работу агрегата при поступательной скорости  $1,5\text{--}3,0 \text{ км} \cdot \text{ч}^{-1}$ .

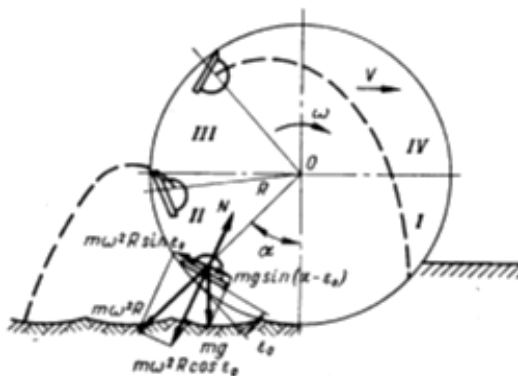


Рис. 4. Силы, действующие на элемент почвенной стружки при взаимодействии с ножом: сила тяжести (); центробежная сила (); нормальная реакция (реакция опоры); сила трения ().

[Fig. 4. Forces acting on an element of the soil slice during interaction with the blade:  $G$  – gravitational force ( $G = mg$ );  $F_C$  – centrifugal force ( $F_C = mR\omega^2$ );  $N$  – normal reaction (support force);  $F$  – friction force ( $F = fN$ )].

#### Декомпозиция потребляемой мощности.

Суммарная потребляемая мощность роторного почвообрабатывающего агрегата была проанализирована по составляющим элементам:

$$N = N_P + N_{eject} \pm N_{lift} + N_{roll} + N_{trans} \quad (3)$$

где:

$N_P$  – мощность, затрачиваемая на резание почвы (кВт);

$N_{eject}$  – мощность, затрачиваемая на отбрасывание (выброс) почвы (кВт);

$N_{lift}$  – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления (кВт);

$N_{roll}$  – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению (кВт);

$N_{roll}$  – потери мощности в трансмиссии (кВт);

Мощность, затрачиваемая на резание почвы, определялась по выражению:

$$N_P = \frac{1}{75} k_P \alpha B v \quad (4)$$

где:

$k_P = 0.25 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$  (коэффициент резания);

$B$  – рабочая ширина (м);

$\alpha$  – глубина обработки (м);

$v$  – поступательная скорость (м/с);

Мощность, затрачиваемая на выброс почвы:

$$N_{отб} = \frac{1}{75} k_{eject} \alpha B v^3 \lambda^2 \quad (5)$$

где:

$k_{eject} = 0.00015 \text{ kN} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-4}$  (коэффициент выброса).

#### 1.6. Место проведения эксперимента и почвенные условия

Полевые эксперименты были проведены в вегетационный период 2021 года на опытных полях Казахского научно-исследовательского института земледелия и растениеводства. Экспериментальный

участок является типичным для условий орошаемого земледелия Южного Казахстана.

Почва относится к орошаемым серозёмам, представленным светло-каштановыми суглинистыми разновидностями. На момент проведения испытаний пахотный слой (0–0,20 м) находился в уплотнённом предпосевном состоянии.

Таблица 2. Физические показатели почвы на экспериментальном участке (среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение).

| Параметры                         | Значение                                       |
|-----------------------------------|------------------------------------------------|
| Тип почвы                         | Орошаемый серозём (светло-каштановый суглинок) |
| Глубина отбора проб (м)           | 0–0,20                                         |
| Влажность почвы (%)               | $13.4 \pm 1.5$                                 |
| Сопротивление проникновению (МПа) | $0.8 \pm 0.1$                                  |
| Состояние поверхности             | Уплотнённое, после полива                      |

#### *Схема эксперимента и методика измерений.*

Эффективность однопроходной системы ФС-2,1 оценивалась в сравнении с традиционной многопроходной технологией, включающей последовательное выполнение основной обработки почвы, предпосевной подготовки, выравнивания поверхности и посева пропашной сеялкой.

Эксперимент был проведён по схеме рандомизированных блоков с четырёхкратной повторностью. Каждая опытная делянка соответствовала одному полному технологическому проходу агрегата по выбранной технологии.

Измеряемые показатели включали тяговое сопротивление, расход топлива, суммарные энергетические затраты, гранулометрический состав почвенных агрегатов, отклонение выравниваемости поверхности, а также точность глубины заделки и равномерность размещения семян.

#### *Статистическая обработка данных.*

Все экспериментальные данные представлены в виде среднего значения  $\pm$  стандартного отклонения. Различия между вариантами оценивали с использованием дисперсионного анализа (ANOVA) при уровне доверительной вероятности 95 % (.). Статистическая обработка результатов выполнялась в соответствии с требованиями действующих нормативных документов (ГОСТ).

#### **Результаты.**

##### *Теоретическое обоснование и конструктивные параметры.*

Аналитическое моделирование подтвердило, что оптимизированная геометрия роторных ножей обеспечивает устойчивое резание почвы и снижение пиковых реакционных нагрузок в условиях орошаемых серозёмных почв. Переход от традиционного угла установки ножей ( $40^\circ$ ) к оптимальному диапазону  $54\text{--}56^\circ$  привёл к снижению удельной площади резания примерно на 22 % (рисунок 2). Такое уменьшение способствует преобладанию срезающего механизма разрушения почвы и ограничивает одновременное взаимодействие нескольких ножей с почвой, что снижает колебания крутящего момента.

Модель взаимодействия «почва-нож» (рисунок 3) показала, что последовательное вхождение ножей в почву обеспечивает равномерное формирование почвенной стружки и плавную передачу энергии по окружности роторного барабана. Анализ сил, действующих на элемент почвенной стружки (рисунок 4), показал, что при оптимальном угле установки ножей и рабочих скоростях сила тяжести превышает центробежную и силы трения, предотвращая накопление почвы под роторным барабаном. Полученные аналитические результаты формируют механистическое объяснение снижения тягового сопротивления и потребляемой мощности, зафиксированного в полевых испытаниях.

Все аналитические результаты, приведённые в данном разделе, соответствуют физическим свойствам почвы, представленным в таблице 2.

##### *Полевые показатели работы и качество формирования посевного ложа.*

Все приведённые ниже эксплуатационные показатели получены при использовании конфигурации FS-2.1, указанной в таблице 1. Стабильность рабочей глубины и отсутствие подпочвенных гребней обусловлены конструктивной схемой агрегата (рисунок 1), в которой опорные колёса и полосные роторные секции объединены в жёсткой раме. Полевые наблюдения подтвердили устойчивую работу без забивания, чрезмерных вибраций и накопления почвы на роторных барабанах (рисунок 2).

Роторная система полосной обработки обеспечила устойчивую среднюю глубину обработки  $0,14 \pm 0,01$  м, тогда как традиционная многопроходная технология характеризовалась большей вариабельностью глубины ( $0,15 \pm 0,02$  м). Анализ структуры почвы показал, что  $85,2 \pm 2,8$  % агрегатов, сформированных при однопроходной обработке, имели размер менее 25 мм, тогда как при традиционной технологии этот показатель составил  $65,3 \pm 3,5$  % (таблица 3). Отклонение выравненности поверхности при использовании системы FS-2.1 не превышало 5 мм, в то время как для традиционной технологии фиксировались отклонения в пределах 15–25 мм.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что предложенная однопроходная технология полностью соответствует и превосходит агротехнические требования к предпосевной подготовке почвы в условиях орошаемого земледелия.

Таблица 3. Показатели качества обработки почвы.

| Параметры                                    | Однопроходная система | Традиционная система | Норматив    |
|----------------------------------------------|-----------------------|----------------------|-------------|
| Средняя глубина обработки, м                 | $0.14 \pm 0.01$       | $0.15 \pm 0.02$      | 0.12–0.16   |
| Содержание агрегатов размером менее 25 мм, % | $85.2 \pm 2.8$        | $65.3 \pm 3.5$       | >80*        |
| Отклонение выравненности поверхности, мм     | <5                    | 15–25                | <10*        |
| Наличие подпочвенных гребней                 | Отсутствуют           | Наблюдаются          | Отсутствуют |

Типичные агротехнические требования к точному посеву.

*Тяговое сопротивление, расход топлива и энергетические затраты.*

Измеренное тяговое сопротивление для системы FS-2.1 составило в среднем  $5,2 \pm 0,4$  кН, что на 38 % ниже по сравнению с традиционной технологией ( $8,4 \pm 0,6$  кН). Данное снижение согласуется с перераспределением сил, предсказанным моделью взаимодействия «почва–нож» (рисунок 4), которая ограничивает пиковые нормальные нагрузки и силы трения, действующие на ножи.

Удельный расход топлива снизился с  $16,4 \pm 1,2$  кг·га<sup>-1</sup> при традиционной технологии до  $9,3 \pm 0,8$  кг·га<sup>-1</sup> при однопроходной системе, что соответствует сокращению на 43 %. Суммарные энергетические затраты уменьшились с  $1275 \pm 98$  МДж·га<sup>-1</sup> до  $580 \pm 45$  МДж·га<sup>-1</sup>, обеспечив общее энергосбережение на уровне 54,5 % (таблица 4).

Таблица 4. Сравнительные показатели энергетической эффективности.

| Показатели                          | Традиционная система | Комбинированный агрегат | Улучшение |
|-------------------------------------|----------------------|-------------------------|-----------|
| Тяговая нагрузка, кН                | $8.4 \pm 0.6$        | $5.2 \pm 0.4$           | –38%      |
| Расход топлива, кг·га <sup>-1</sup> | $16.4 \pm 1.2$       | $9.3 \pm 0.8$           | –43%      |
| Требуемая мощность, кВт             | $62 \pm 4$           | $39 \pm 3$              | –37%      |
| Энергозатраты, МДж·га <sup>-1</sup> | $1275 \pm 98$        | $580 \pm 45$            | –54.5%    |

Совокупное снижение тяговой нагрузки, расхода топлива и суммарных энергетических затрат подтверждает, что аналитическая оптимизация геометрии роторных ножей непосредственно обеспечила измеримый энергетический эффект в полевых условиях.

*Качество посева, экономическая эффективность и надёжность.*

Несмотря на значительное снижение энергопотребления, система FS-2.1 обеспечила высокое качество посева. Коэффициент вариации (CV) распределения семян составил 8,4%, а равномерность глубины заделки достигла 92,3 %. Эти значения соответствуют рекомендуемым нормативам для точного посева овощных культур в условиях орошаемого земледелия.

*Производные показатели «энергия–качество».*

Для обеспечения сопоставимости результатов с другими исследованиями были рассчитаны дополнительные производные показатели. Пересчёт расхода топлива в энергетический эквивалент (плотность дизельного топлива – 0,84 кг·л<sup>-1</sup>; низшая теплота сгорания – 35,8 МДж·л<sup>-1</sup>) показал снижение энергетических затрат топлива примерно с 699 МДж·га<sup>-1</sup> для традиционной технологии до 396 МДж·га<sup>-1</sup> для системы FS-2.1.

Экономический анализ показал благоприятное соотношение «затраты–эффект» на уровне 1:1,75 и срок окупаемости менее двух лет для орошаемого хозяйства площадью 100 га. Оценка надёжности показала, что средняя наработка на отказ превышает 180 ч, а коэффициент технической готовности

составляет 0,96 (таблица 5).

Таблица 5. Показатели качества посева, экономической эффективности и надёжности системы FS-2.1 при однократной роторной обработке почвы и посеве в условиях орошения.

| Показатели                               | Единица измерения | FS-2.1 (однократная система) |
|------------------------------------------|-------------------|------------------------------|
| Коэффициент вариации распределения семян | %                 | 8.4                          |
| Равномерность глубины заделки семян      | %                 | 92.3                         |
| Соотношение «затраты–эффект»             | –                 | 1:1.75                       |
| Срок окупаемости                         | год               | <2                           |
| Средняя наработка на отказ (MTBF)        | час               | >180                         |
| Коэффициент эксплуатационной готовности  | –                 | 0.96                         |

Энергоёмкость, приходящаяся на 1% почвенных агрегатов размером менее 25 мм, снизилась с 19,53 до 6,81 МДж·га<sup>-1</sup>·%<sup>-1</sup>, что соответствует улучшению на 65 %. Интегральный показатель «качество–энергия» увеличился приблизительно в 2,9 раза, что свидетельствует о существенно более рациональном соотношении между качеством формирования посевного ложа и энергозатратами при использовании оптимизированной однократной системы.

### Обсуждение результатов.

Результаты исследования показывают, что наблюдаемое снижение тягового сопротивления, расхода топлива и суммарных энергетических затрат обусловлено именно конструктивной оптимизацией роторной системы обработки, а не упрощением технологического процесса. Аналитическое уменьшение удельной площади резания за счёт оптимизации геометрии установки ножей даёт механистическое объяснение энергетических преимуществ, выявленных в полевых условиях. Аналогичные зависимости между геометрией ножа и сопротивлением почвы отмечались и в классических теориях роторной обработки, а также в экспериментальных исследованиях взаимодействия «почва–рабочий орган».

Снижение удельной площади резания примерно на 22 % изменило доминирующий механизм разрушения почвы – от сжимающего к срезающему. Это привело к уменьшению пиковых реакционных нагрузок на отдельные ножи и ограничению их одновременного контакта с почвой по окружности ротора, что стабилизировало потребность в крутящем моменте. Согласованность аналитических расчётов и полевых измерений подтверждает адекватность предложенной модели взаимодействия «почва–нож» для условий орошаемых серозёмов.

По сравнению с ранее разработанными комбинированными агрегатами, обеспечивающими экономии энергии в пределах 20–40 %, снижение суммарных энергозатрат, достигнутое системой FS-2.1, является более значительным. Это объясняется сочетанием двух инженерных принципов:

локализация интенсивного механического воздействия на почву в отдельных полосах, совпадающих с рядами культур;

аналитическая оптимизация геометрии рабочих органов на основе механики почв, а не эмпирического подбора параметров.

Полосная обработка позволяет снизить энергозатраты и деградацию почвы при сохранении агрономической эффективности. В данном исследовании энергетический выигрыш был достигнут без ухудшения качества посевного ложа и точности высева.

Особенно важна эффективность системы в условиях орошаемых серозёмов, склонных к повторному уплотнению при сплошной многократной обработке. Снижение объёма обрабатываемой почвы и ограничение нагрузок вне зоны развития корневой системы уменьшают вторичное уплотнение и сохраняют благоприятные условия для развития растений. Это соответствует современным мировым тенденциям перехода к ресурсосберегающим и прецизионным технологиям обработки.

С инженерной точки зрения полученные результаты подчёркивают необходимость интеграции аналитического моделирования в процесс проектирования сельскохозяйственных машин. Совпадение расчётных силовых и энергетических параметров с экспериментальными данными подтверждает эффективность прогностических инженерных методов, которые могут быть адаптированы к различным типам почв и классам тракторов путём корректировки геометрических и кинематических параметров.

Экономические и эксплуатационные показатели также подтверждают практическую применимость разработки. Благоприятное соотношение «затраты–эффект» и высокий коэффициент готовности

свидетельствуют о возможности промышленного внедрения агрегата, что особенно актуально для регионов с ограниченной энергообеспеченностью и высокой стоимостью топлива.

Следует отметить и ограничения исследования. Испытания проводились в диапазоне почвенно-влажностных условий, характерных для серозёмной зоны орошения. Для окончательной универсализации методики необходимы дополнительные исследования на других типах почв, при различных уровнях растительных остатков и в разных севооборотах. Долговременное влияние на структуру почвы, содержание органического вещества и стабильность урожайности также требует дальнейшего изучения.

В целом результаты показывают, что целенаправленная оптимизация роторных рабочих органов в сочетании с полосной обработкой является технически обоснованным путём снижения энергозатрат при сохранении агрономической эффективности.

### **Выводы.**

В работе разработан и экспериментально обоснован комбинированный роторный агрегат для однопроходной предпосевной обработки почвы и посева семян, адаптированный к условиям орошаемых почв Южного Казахстана. Исследование объединило аналитическое моделирование взаимодействия «почва–нож», инженерную оптимизацию конструкции и полевую проверку.

В результате выполненных теоретических и экспериментальных исследований разработан и обоснован комбинированный роторный агрегат FS-2.1, предназначенный для выполнения предпосевной обработки почвы и посева семян за один технологический проход в условиях орошаемого земледелия Южного Казахстана. Полученные результаты подтверждают актуальность перехода от традиционных многопроходных технологий к ресурсосберегающим однопроходным технологическим схемам, позволяющим снизить энергетические затраты, уменьшить механическое воздействие на почву и повысить эффективность использования машинно-тракторного парка.

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке аналитического подхода к обоснованию параметров роторных рабочих органов с учетом механики взаимодействия системы «почва – нож». Установлено, что геометрические параметры ножей оказывают существенное влияние на характер разрушения почвенного пласта, величину удельной площади резания, реакционные нагрузки и потребляемую мощность агрегата. Проведенный анализ позволил определить рациональный угол установки Г-образных ножей в диапазоне 54–56°, при котором обеспечивается переход от преимущественно деформационного механизма разрушения почвы к более эффективному срезающему механизму. Это позволило снизить удельную площадь резания примерно на 22 %, что является одним из ключевых факторов уменьшения энергоемкости технологического процесса.

Экспериментальные исследования подтвердили достоверность теоретических предпосылок. При работе агрегата FS-2.1 в условиях орошаемых сероземных и светлокаштановых суглинистых почв Южного Казахстана обеспечено формирование качественного посевного ложа, соответствующего агротехническим требованиям. Содержание почвенных агрегатов размером менее 25 мм составило 85,2 %, тогда как при традиционной технологии данный показатель составил 65,3 %. Отклонение выравнинности поверхности при использовании разработанного агрегата не превышало 5 мм, что свидетельствует о высокой стабильности технологического процесса и возможности обеспечения благоприятных условий для равномерного прорастания семян.

Наиболее значимый практический результат исследования заключается в существенном снижении энергетических показателей по сравнению с традиционной многопроходной технологией. Тяговое сопротивление агрегата снизилось с 8,4 до 5,2 кН, что соответствует уменьшению на 38 %. Удельный расход топлива сократился с 16,4 до 9,3 кг·га<sup>-1</sup>, то есть на 43 %. Суммарные энергетические затраты уменьшились с 1275 до 580 МДж·га<sup>-1</sup>, что обеспечивает энергосбережение на уровне 54,5 %. Данные показатели доказывают, что снижение энергозатрат достигается не за счет ухудшения качества обработки, а за счет рационального сочетания полосного воздействия на почву, оптимизированной геометрии рабочих органов и совмещения операций обработки почвы и посева.

Практическая значимость разработанного агрегата состоит в возможности его применения в фермерских и сельскохозяйственных хозяйствах Туркестанской, Жамбылской, Кызылординской и Алматинской областей, где широко распространено орошаемое земледелие и имеются почвы, чувствительные к многократному механическому воздействию. Использование агрегата FS-2.1 позволяет сократить количество технологических операций, уменьшить уплотнение пахотного слоя, снизить расход

горюче-смазочных материалов, повысить производительность труда и уменьшить эксплуатационные затраты. Экономическая оценка показала благоприятное соотношение «затраты–эффект» на уровне 1:1,75, а срок окупаемости агрегата составляет менее двух лет при использовании в орошаемом хозяйстве площадью около 100 га.

Качество посева также подтвердило эффективность предлагаемой конструкции. Коэффициент вариации распределения семян составил 8,4 %, а равномерность глубины заделки семян достигла 92,3 (%). Эти показатели соответствуют требованиям точного посева и позволяют рассматривать агрегат FS-2.1 не только как почвообрабатывающее, но и как полноценное почвообрабатывающе-посевное средство для внедрения ресурсосберегающих технологий.

Следует отметить, что проведенные исследования выполнялись в конкретных почвенноклиматических условиях Южного Казахстана, поэтому дальнейшие работы целесообразно направить на расширение зоны испытаний, проверку агрегата на различных типах почв, оценку влияния технологии на урожайность сельскохозяйственных культур, структуру почвы и содержание органического вещества в долгосрочной перспективе. Перспективным направлением дальнейших исследований является также оснащение агрегата элементами цифрового мониторинга, датчиками глубины обработки, системами контроля тягового сопротивления и адаптивного регулирования режимов работы.

Таким образом, разработанный комбинированный роторный агрегат FS-2.1 является технически и экономически обоснованным решением для ресурсосберегающей предпосевной обработки почвы и посева семян. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании новых малотяговых комбинированных агрегатов, модернизации существующих почвообрабатывающе-посевных машин и внедрении энергоэффективных технологий в условиях орошаемого земледелия Казахстана.

#### REFERENCES

- Bernatsky G. (1985). Theoretical foundations of rotary tillage machine design // *Agricultural Engineering Research*. 42. 145–162.
- Chatkin M.N., Fedorov S.Ye. (2022). Evaluating the operational efficiency of a combined tillage cultivator // *Engineering Technologies and Systems*. 32. 539–551. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202204.539-551>
- Chen Y., Zhang H., Wang J. (2019). Soil physical properties and maize yield under different tillage practices: A comparison of disc ploughing, chisel ploughing and rotary tillage. *Soil and Tillage Research*. 194. 104335. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104335>
- Dubrovsky V., Belyaev V. (2021). Improving the efficiency of combined tillage and sowing units with active working bodies. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 64. 47–56.
- Gribanovsky A., Rzaliyev A., Goloborodko V., Karmanov D.K., Bekmukhametov S., Sagyndykova A. (2017). Revisiting the choice of the sowing system of broad-cut seeders // *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 12. 1307–1316. Available online: <https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85020175335>
- Karmanov D.K. (2022). Itogovyy otchyot 2020–2022. po nauchnomu proektu GF-2020–2022: AP08052321 «Razrabotka resursosberegayushhego kombinirovannogo agregata dlya predposevnoy obrabotki pochvy i poseva semyan na oroshaemykh zemlyakh YUzhnogo regiona Kazakhstana». — A.: Nauchno-proizvodstvennyy tsentr agroinzhenerii.
- Karmanov D.K., Begaly D.K., Isimov N.T., Beknazarov D.R., Sejpataliev O.E. (2022). Razrabotka malogabaritnogo kombinirovannogo agregata dlya predposevnoy obrabotki pochvy i poseva semyan v usloviyakh yugo-vostochnogo regiona Kazakhstana // *Vestnik VKTU*. №4. 108–119. ISSN: 1561–4212
- Karmanov D.K. et al. (2022). Design and theoretical analysis of a combined strip-till seeder for vegetable crops. *Advanced Engineering Science*. 2. 45–52. Available online: <http://advancedengineeringscience.com/article/473.html>
- Karmanov D.K. et al. (2022). Test results of the FS-2.1 experimental sample of the combined unit for pre-sowing tillage and seed sowing in the conditions of the southern region of Kazakhstan // *Research, results*. № 3 (95). ISSN 2304-3334. 64–72 R.
- Mohammad R.A., Alireza A. (2015). Soil properties and crop yield under different tillage methods for rapeseed cultivation in paddy fields // *Journal of Agricultural Sciences*. 60. 11–22. <https://doi.org/10.2298/JAS1501011A>
- Rzaliyev A.S., Karmanov D.K., Sopov Yu.V. (2020). Tillage implement with step-by-step adjustment of soil tillage depth. Patent RK. No. 34512. 20. November 2020.
- Sakai K., Hoshino S., Yamada K. (2008). Analysis of reaction forces and moment on a rotary tiller // *Journal of Terramechanics*. 45. 187–198. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2008.07.003>
- Sudhakar K., Reddy B.S., Kumar M.V. (2012). Development and evaluation of a combined tillage and seeding machine for dryland crops // *Journal of Agricultural Engineering*. 2012. 49. 1–7.
- Wang X., Zhang H., Wang J. (2014). Development and application of combined tillage and seeding machines in China // *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2014. 16. 467–476.
- Yuzbashev V.A. Experimental determination of soil cutting coefficients for rotary implements. *Soil and Tillage Research* 1990. 17. 89–104. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(90\)90009-M](https://doi.org/10.1016/0167-1987(90)90009-M)
- Zhang Z., Li Y., Wang X. (2019). Optimization design and experiment of a combined tillage and seeding machine for wheat // *Journal of Agricultural Machinery*. 2019. 50. 100–109.

**Карманов Дархан Кабдыкалыкович** — концептуализация, написание и редактирование текста.

**Жумагулов Жандос Боранбаевич** — курирование данных, проведение экспериментов, ресурсы.

**Саркынов Ербол** — проведение экспериментов, сбор данных.

**Касимова Резвангуль Меретаевна** — проведение экспериментов, сбор данных.

# RESEARCH, RESULTS

SCIENTIFIC JOURNAL

# ІЗДЕНІСТЕР, НӘТИЖЕЛЕР

ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛ

# ИССЛЕДОВАНИЯ, РЕЗУЛЬТАТЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

## Құрылтайшысы және баспагері:

«Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КЕАҚ «Қазақстан Республикасы  
Президентінің жанындағы Қазақстан Республикасының Ұлттық Ғылым академиясы»  
КЕАҚ

## Бас редактор

Күрішбаев Ақылбек Қажығұлұлы

## Жауапты редактор

Мрзабаева Раушан Жалиевна

## Компьютерде беттеген

Асанова Жадыра Миримхановна

Редакция мен баспаның мекен-жайы:

050010, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Абай даңғылы, 8

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

29.08.2026 ж.